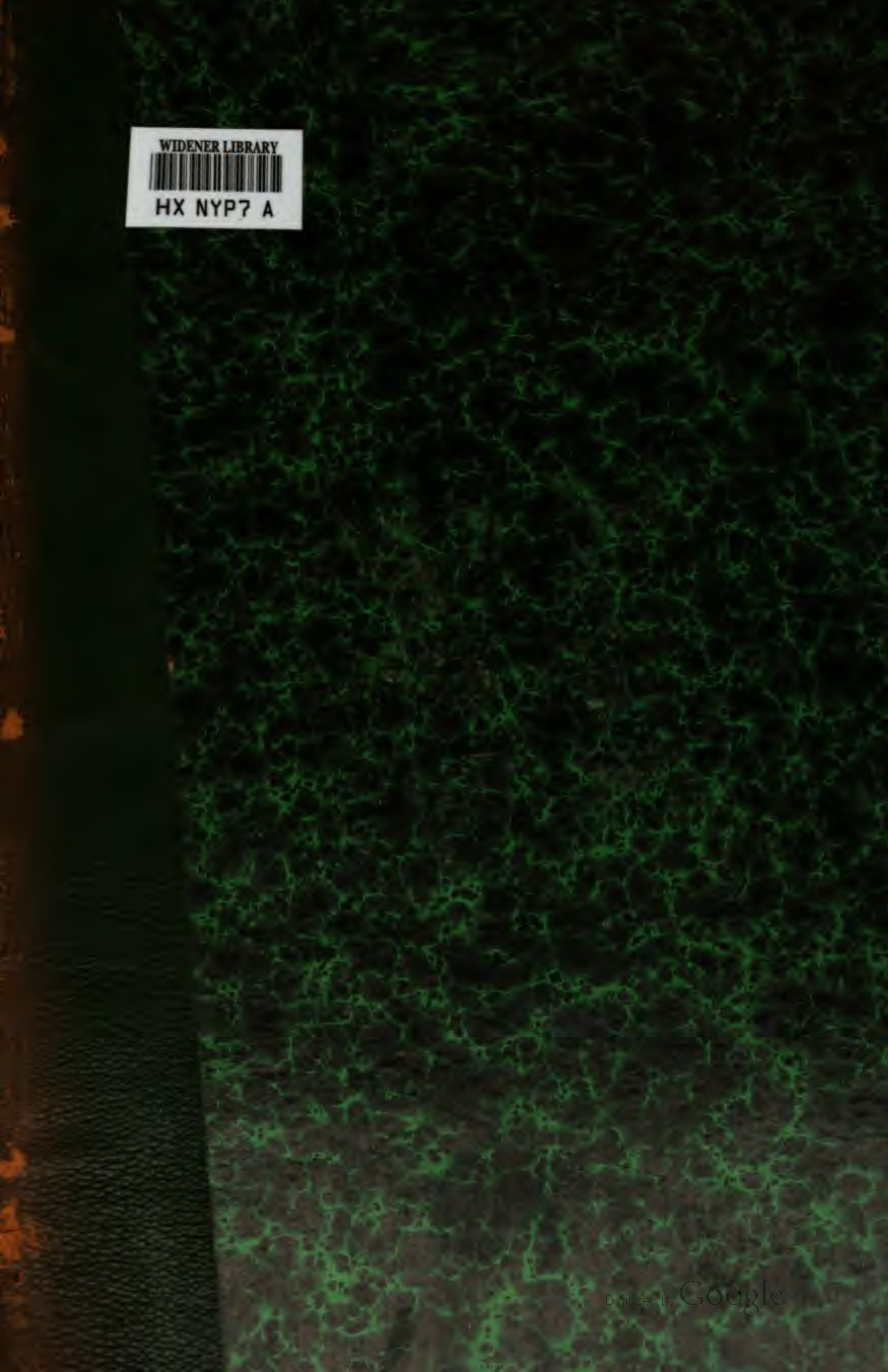
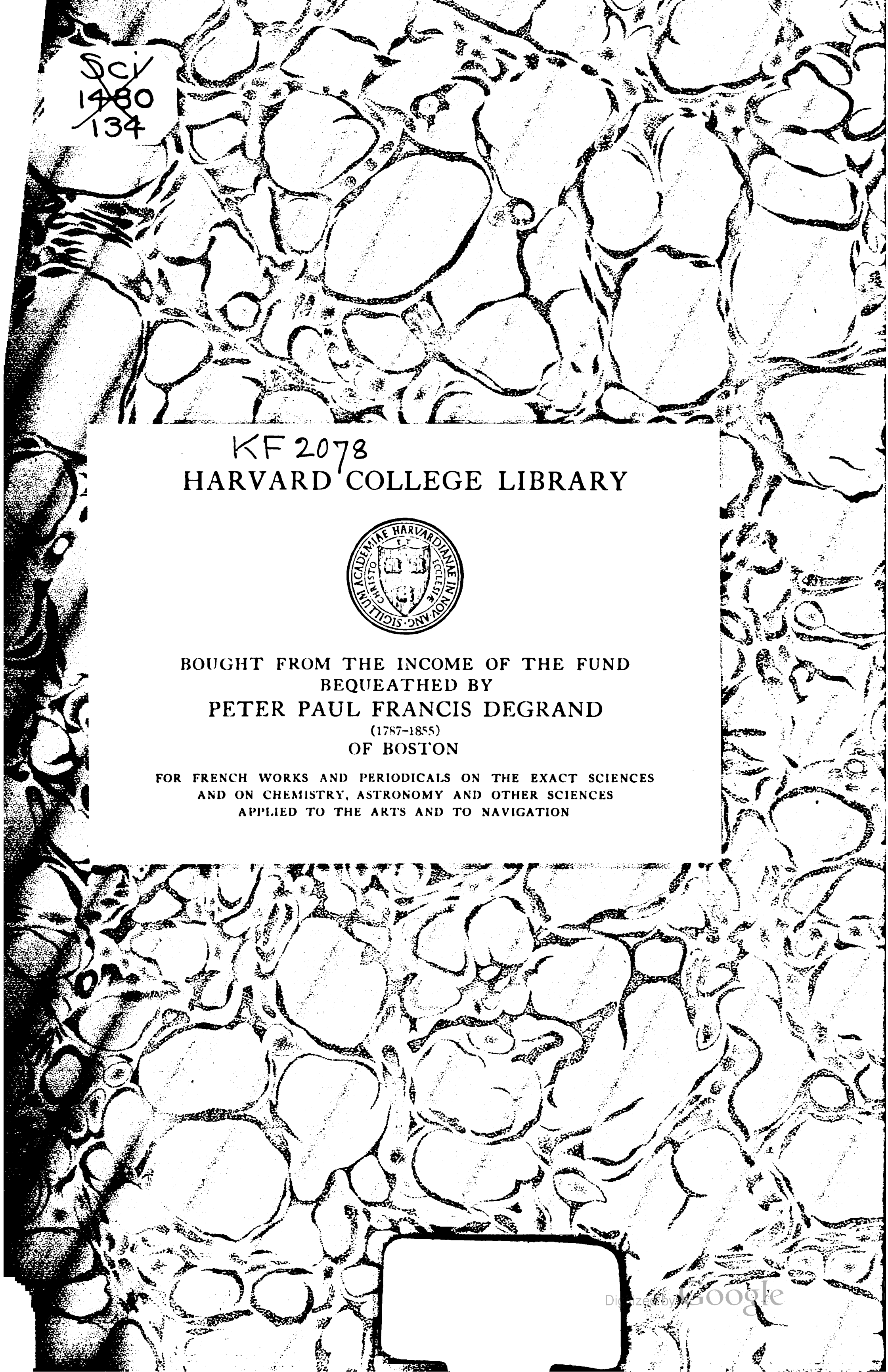

WIDENER LIBRARY
HX NYP7 A



Sci 1480.134
KF 2078
HARVARD COLLEGE LIBRARY
ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV·ANG· SIGILLUM CHRISTO ECCLESIAE
BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON
FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION
Digitized by Google



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1908

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

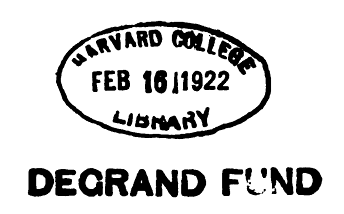
RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1908

DEUXIÈME VOLUME

PARIS
HOTEL DE LA SOCIÉTÉ
19, RUE BLANCHE, 19

1908


HARVARD COLLEGE
FEB 16 1922
LIBRARY

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUILLET 1908

N° 7.

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de juillet 1908, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Arts militaires.

DEPORT (L[t]-C[l]). — *Canon à tir rapide. Le Matériel de campagne français et le Matériel allemand*, par le Lieutenant-Colonel Deport (in-8°, 225 × 145 de 36 p. avec 14 fig.). Paris, Henri Charles Lavauzelle. (Don de l'auteur.) 45489

Chemins de fer et Tramways.

NADAL (J.). — *Locomotives à vapeur*, par Joseph Nadal (Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du D[r] Toulouse. Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie. Directeur : M. d'Ocagne) (in-18, 185 × 120 de XVI-315-XII p. avec 76 fig.). Paris, Octave Doin, 1908. (Don de l'éditeur.) 45494

Chimie

BRUNEL (L.). — *Programme du Cours de Chimie générale dans ses rapports avec l'Industrie*, présenté par M. Léon Brunel (in-4°, 270 × 220 de 8 p.). Paris, Gauthier-Villars. (Don de l'auteur.) 45497

Construction des Machines.

BRAND (J.). DESJUZEUR (M.). — *Méthodes techniques d'Essais pour le contrôle de la Marche des Installations et spécialement des Installations à vapeur*, à l'usage des Laboratoires de construction de machines des établissements d'enseignement technique, par Julius Brand. Seconde édition, revue et augmentée. Traduit de l'allemand, par M. Desjuzeur (in-8°, 250 × 160 de VII-424 p. avec 301 fig., 2 pl. et de nombreux tableaux). Paris et Liége, Ch. Béranger, 1908. (Don de l'éditeur.)

CAMUS (G.). — *Automobilisme. Formules donnant la puissance d'un moteur d'automobile*, par G. Camus (Extrait du Bulletin technologique N° 3, Mars 1908 de la Société des Anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers) (in-8°, 215 × 135 de 24 p. avec 14 fig.). Paris, Imprimerie Chaix, 1908. (Don de l'auteur.) 45485

Compte rendu des séances du 31e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur tenu à Paris en 1907 (in-8°, 255 × 165 de 343 p.). Paris, Imprimerie E. Capiomont et Cie. 45500

Économie politique et sociale.

Congrès international des Habitations à bon marché de Londres. Août 1907. Rapports de MM. Ambroise Rendu et Émile Cacheux, Délégués du Comité de Patronage des Habitations à bon marché du département de la Seine (in-4°, 280 × 225 de 84 p.). Orléans, Imprimerie Auguste Gout et Cie, 1908. (Don de M. E. Cacheux, M. de la S.). 45486

Législation.

Annuaire de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures. Promotions de 1832 à 1907 (in-8° 225 × 150 de 731 p.). Paris, 1, Rue de Stockholm, 1908. 45490

Boston Society of Civil Engineers. Constitution and By-Laws and List of Members. June, 1908 (in-8°, 230 × 150 de 69 p.). Boston, The Mudge Press, 1908. 45495

Verein deutscher Ingenieure. Mitgliederverzeichnis. 1908 (in-8°, 175 × 120 de 532 p.). Berlin, Julius Springer. 45504

Métallurgie et Mines.

Comité des Forges de France. Assemblée générale ordinaire du 21 mai 1908. Rapport de la Commission de Direction (in-4°, 280 × 215 de 20 p.). Paris, 63, Boulevard Haussmann, 1908. 45487

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Report of the Superintendent of the Coast and Geodetic Survey showing the Progress of the Work from July 1. 1906, to June 30, 1907 (Department of Commerce and Labor) (in-8°, 285 × 230 de 565 p. et 10 cartes). Washington, Government Printing Office. 1907. 45492

Physique.

The National Physical Laboratory. Collected Researches. Vol II (in-4°, 305 × 230 de 310 p. avec fig. et pl.). 45483

The National Physical Laboratory. Report for the Year 1906 (in-4°, 260 × 190 de 61 p. avec 9 pl.). Teddington, Parrott and Ashfield, 1907. 45484

Sciences mathématiques.

Jouguet (E.). — *Lectures de Mécanique. La Mécanique enseignée par les auteurs originaux*, par E. Jouguet. *Première partie. La Naissance de la Mécanique* (in-8°, 255 × 165 de VIII-206 p. avec 85 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de l'éditeur.) 45502

Sciences Morales. — Divers.

Brunel (L.). — *Notice sur les Travaux scientifiques de M. Léon Brunel* (in-8°, 235 × 155 de 18 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1908 (Don de l'auteur.) 45498

Thompson (S.-P.). — *The Kelvin Lecture. The Life and Work of Lord Kelvin*, by Professor Silvanus P. Thompson (Institution of Electrical Engineers Delivered April 30, 1908) (in-8°, 230 × 150 de 23 p.). London, E. and F.-N. Spon. (Don de l'Institution of Electrical Engineers). 45493

Technologie générale.

Atti del Collegio Toscano degli Ingegneri ed Architetti Firenze. Anno 1907 (in-8°, 265 × 185 de 61 p.). Firenze, G. Carnesecchi e Figli. 45506

École Centrale des Arts et Manufactures. Portefeuille des Travaux de vacances des Élèves. Publié par la Direction de l'École. *Année 1907* (Ministère du Commerce et de l'Industrie) (in-f°. 575 × 410 de 37 pl.). Paris, Imprimerie et Librairie des Arts et Manufactures, 1908. (Don de M. le Directeur de l'École Centrale). 45491

International Catalogue of Scientific Literature. Sixth Annual Issue. H. Geology 1908 (May) (in-8°, 215 × 140 de 299 p.). London, Harrison and Sons. Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de M. Gauthier-Villars). 45501

Société des Arts de Genève. Comptes rendus de l'Exercice 1907. Tome XVIII, 3e fascicule (in-8°, 215 × 145 p. 229 à 330). Genève, Société générale d'Imprimerie. 45496

Transactions of the Engineering Societies. University of Toronto. N° 20, 1906-1907 (in-8°, 225 × 145 de xxvi-247 p. avec fig. et pl.). Toronto, The Carswell Company, 1907. 45505

Travaux publics.

Le Béton armé. Organe mensuel des Agents et Concessionnaires du Système Hennebique. Relevé des Travaux exécutés en 1907 (in-4°, 315 × 220 de 147 p. avec 97 fig.). Onzième année. Avril-Mai 1908. Numéros 119 *bis* et 120 *bis*. Paris, 1, Rue Danton. 45499

Kersten (C.). Poinsignon (P.). — *La Construction en Béton armé. Guide théorique et pratique*, par C. Kersten. Traduit d'après la troisième édition allemande par P. Poinsignon. *Deuxième partie. Applications à la Construction en élévation et en sous-sol* (in-8°, 230 × 145 de vii-280 p. avec 497 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de l'éditeur.) 45503

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de juillet 1908, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

E. Arrego Pardo,	présenté par MM.	Delaunay, Faullain de Banville, Vattier.
A. Bardeau,	—	Dumont, Campagne, Schuhler.
H.-A. Carles,	—	Francq, Gauthier, Lathuille, Savy.
A.-J. Carpentier,	—	Breuillé, Hovine, Willems.
A.-Ch. Cayatte,	—	Bellet, H. Bourdon, E. Michel.
J.-J.-M. Dubreucq Perus,	—	Reumaux, Dubreucq-Perus, J. Rey.
E. Gauthronet,	—	Attal, Campagne, Chabal.
A. Grenon,	—	Catala, Delaporte, Desplats.
F. Hoton,	—	A. Duprat, Barrellet, Pehr de Rehausen.
J. Krassnoff,	—	Barbier, Benard, Turenne.
A. Liguori,	—	Barbet, de Fréminville, Hersent.
E. Marie,	—	H. Carpentier, Bougault, de Dax.
E. Prinçaud,	—	Court, Lafarge, Mauroy.
U. Samatan,	—	Sol, Tissot, Vidal.
E. Schnoor,	—	de Fréminville, Lejeune, de Dax.
R. Torretti,	—	Vattier, Delaunay, Faullain de Banville.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

F. Robin,	présenté par MM.	P. Buquet, G. Canet, Breuil.
M.-M. Vezet,	—	Courtier, Griveaud, Semichon.

Comme Membre Associé, M. :

E. Duprat,	présenté par MM.	Barrellet, Duclout, A. Duprat.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1908

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 3 JUILLET 1908

PRÉSIDENCE DE M. E. REUMAUX, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 h. 3/4.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaitre le décès de M. :

Ch. J. Bronne, membre de la Société depuis 1863, ancien élève de l'École des mines de Liège, ancien directeur des mines de Josselin, puis de Pompéan, chef de service à la maison Cail, Ingénieur civil. Depuis trente-neuf ans M. Bronne dirigeait une importante maison de papeterie concernant plus spécialement ce qui se rapporte à l'art de l'Ingénieur.

M. le Président adresse à la famille de ce collègue les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaitre que M. J. ARMENGAUD jeune a été nommé membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Comité des Arts Mécaniques) et membre de la Commission Internationale permanente d'Aéronautique.

M. Ch. Pelletier a été nommé Officier de l'Instruction publique.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus. Cette liste sera insérée dans l'un des prochains Bulletins.

Un pli cacheté a été déposé par M. Marié, à la date du 22 juin 1908 èt enregistré sous le n° 52.

La Chambre de Commerce de La Rochelle met au concours la fourniture de deux grues roulantes électriques de la force de cinq tonnes, munies de bennes dragueuses et destinées au port de La Rochelle-Pallice.

Les demandes de concours doivent être adressées à M. le Président de la Chambre de Commerce, à La Rochelle, avant le 15 juillet, terme de rigueur.

Le Cinquième Congrès de l'Association internationale pour l'essai des matériaux se tiendra à Copenhague, non pas en septembre 1908, comme l'annonçait le Procès-verbal de la séance du 19 juin, mais en septembre 1909.

M. le Président rappelle que, pendant les vacances et comme les années précédentes, les Bureaux et la Bibliothèque seront ouverts de 9 heures à midi et de 2 à 5 heures.

M. le Président donne quelques détails sur la réception de la Junior Institution of Engineers, de Londres, qui a eu lieu le 29 juin dernier et dont notre ancien président, M. G. Canet, a été nommé président pour 1908. C'est un honneur pour M. Canet et aussi pour la Société des Ingénieurs Civils de France, car il est tout à fait exceptionnel qu'une Société étrangère prenne pour Président un ingénieur d'un autre pays. M. Reumaux a été heureux de pouvoir, à cette occasion, exprimer à nos collègues anglais les sentiments d'estime et de cordiale sympathie de la Société.

M. le Président a également reçu, le 26 juin, avec les membres du Bureau de la Société, l'Association Française pour le Développement des Travaux publics, dont le président est M. le sénateur Prevet, et le secrétaire général, notre collègue M. J.-B. Hersent. Une conférence sur l'autonomie des Ports a suivi cette réception.

M. le Président invite les membres de la Société qui seraient désireux de participer au *Voyage au Loetschberg* à ne pas attendre la dernière date du 10 courant pour faire parvenir leur adhésion.

M. P. Besson a la parole pour faire brièvement connaître *Une Application du Radium.*

M. P. Besson présente une série de tubes lumineux renfermant un mélange donné de radium et de sulfure de zinc ; ces tubes ont été réalisés par lui dès 1901 sur la demande du Ministère de la Marine pour armer un appareil de pointage pour les tubes lance-torpilles ; l'appareil, dans ces conditions, fonctionne aussi bien de nuit que de jour. Plusieurs centaines d'appareils ainsi armés sont en service, et si M. Besson n'a pas communiqué le fait plus tôt, c'est qu'il était tenu par un secret levé aujourd'hui.

Le radium a donc eu une utilisation pratique dès qu'on a pu le préparer industriellement.

M. le Président remercie M. P. Besson et dit qu'il est toujours agréable de constater qu'un progrès nouveau est dû à un ingénieur français.

M. R. Bigot a la parole pour une communication sur des *Recherches de mines de cuivre au sud de l'État de Michoacan (Mexique).*

M. Bigot, après un court exposé sur la production mondiale du cuivre et la part provenant du Mexique, signale que l'État de Michoacan ne figure que par des chiffres insignifiants dans la production dudit métal; il expose donc les raisons d'ordre historique, économique, particulier qui l'ont conduit à faire des recherches au sud de cet État.

M. Bigot pense qu'une description détaillée des gisements le conduirait à faire une énumération longue et fastidieuse de roches et de minerais et il croit mieux répondre aux préoccupations de l'esprit curieux et chercheur des membres de la Société en décrivant de suite l'allure d'ensemble de la région parcourue.

A ce point de vue, notre collègue dit que la première question qui se pose est celle de la possibilité d'une concordance géologique entre le sud de l'État de Michoacan et les champs miniers fameux dans l'industrie du cuivre. Il rappelle que la géogénie connue des gisements de cuivre place ceux-ci au contact de roches basiques lourdes, magnésiennes ou ferrugineuses telles que les diorites, diabases, etc. Sans étendre son investigation aux mines de cuivre du monde entier, le conférencier — se bornant au nouveau continent — rappelle les caractères géologiques principaux des principales mines cuprifères des États-Unis et du Chili. En regard de ces formations, M. Bigot signale qu'au sud de l'État de Michoacan la presque totalité des manifestations cuprifères est liée à des venues andésitiques et que cette particularité digne de remarque est la caractéristique dominante de la région parcourue. Le Boléo, dit-il, est la seule mine de cuivre exploitant des minerais près d'andésites; en déduire une concordance géologique serait présomptueux, mais M. Bigot estime qu'un fait observé par lui rend l'hypothèse admissible : c'est une imprégnation de lave andésitique par de la chrysocolle (silicate de cuivre), sel oxygéné de cuivre amené par des eaux parcourant plus bas des amas cuivreux qui, hypothétiquement, peuvent être analogues à ceux du Boléo.

Sur une carte à grande échelle (1/50000) de son champ d'investigation, M. Bigot indique les nombreux endroits où il a constaté la présence de formations filoniennes analogues et consistant en affleurements émergeant de laves andésitiques; ces affleurements sont des « chapeaux de fer » formés de quartz et d'oxydes de fer et contenant des minerais oxygénés de cuivre (cuprite, azurite, malachite) et de la chalcosine, c'est-à-dire des minerais riches.

Il réserve une mention particulière à l'ancienne mine située dans les collines de Mayapito, au sud de Churumuco; ces collines, formées de porphyres dioritiques, contiennent quatre filons qui, dans du quartz ou des brèches andésitiques, présentent de la chrysocolle, de la malachite, de la chalcosine, en proportion dont les chiffres cités (8 à 23 0/0 de cuivre, loi notable d'argent, traces d'or) donnent une idée. Cette ancienne mine a été abandonnée à cause d'éboulements dus à l'absence des boisages

(1) Voir bulletin de mai 1908, page 843.

qui étaient rendus nécessaires par la présence de couches d'argile de contact entre les filons et les épontes.

M. Bigot examine ensuite, avec plus de détails, les amas de la région d'Inguaran. amas cuivreux contenus principalement dans une venue de microgranulite formant filon de contact, remplissant une fracture entre un granit dioritique, base de la formation, et une andésite venue postérieurement. Le minerai est une sorte de conglomérat formé par des masses de porphyre feldspathique agglomérées par un ciment calcaire contenant de la chalcopyrite, des cristaux de calcite, de quartz et ne contenant pas de pyrite de fer. Notre collègue expose rapidement les importants travaux d'explorations effectués par la Compagnie Française d'Inguaran qui, faute de moyens de communication, attend la construction de voies ferrées pour entrer en exploitation.

Le conférencier dit quelques mots sur les fonderies de Santa Clara del Cobre, aujourd'hui paralysées, puis le coup d'œil d'ensemble qu'il jette sur ses investigations, l'amenant à affirmer la présence du cuivre au sud de l'État de Michoacan, le conduit à signaler l'absence de toute exploitation, par suite du manque absolu de voies de communication. M. Bigot examine donc l'avenir de l'État de Michoacan à ce point de vue spécial et indique les voies ferrées projetées ; il examine également le « Rio de las Balsas » au point de vue navigabilité et emploi comme force motrice et signale la possibilité de grandes applications d'électrométallurgie cuprifère.

Le conférencier termine par un exposé rapide de la situation économique générale du Mexique, qu'au moyen de chiffres il montre en un état rare de prospérité, eu égard à la crise financière actuelle.

La conférence de M. Bigot était accompagnée de projections de cartes et de nombreuses photographies prises par lui au cours de ses recherches et donnant une idée de l'allure de la région et des habitudes de ses habitants.

M. le Président remercie M. Bigot de son exposé très précis et très documenté, qui montre qu'il a su explorer avec méthode, en savant et en ingénieur : comme savant, en ne négligeant rien du concours de la minéralogie; comme ingénieur, en se préoccupant, en toute circonstance, de l'objectif économique.

M. Guillaume a la parole pour une communication sur le *Bureau International des Poids et Mesures et son œuvre.*

M. Ch.-Ed. Guillaume rappelle d'abord sommairement les étapes de l'expansion du Système métrique, et son adoption exclusive pour les travaux scientifiques, d'où est né le besoin d'un Institut international chargé de son contrôle permanent. Le désir de la création d'un tel Institut fut exprimé dès l'année 1867 par l'Association pour la mesure du degré en Europe, puis en 1869 par l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg. L'Académie des Sciences de Paris s'associa à ce vœu, et le Gouvernement Français convoqua une Conférence internationale qui. réunie d'abord en 1870, se sépara pour reprendre ses travaux en 1872. Elle conclut en proposant aux Gouvernements la création du Bureau international des Poids et Mesures; elle décida en même temps de

mieux appropriés aux mesures précises, et qui deviendraient des prototypes du Système métrique international.

Ces résolutions furent sanctionnées par la Convention du Mètre, du 20 mai 1875. Le Bureau international, pour lequel le Gouvernement Français a mis à la disposition de la Commission internationale le domaine du Pavillon de Breteuil, a commencé à fonctionner dès l'année 1878.

Ce Bureau est chargé : de la conservation des prototypes internationaux et de leurs témoins ; de la comparaison fondamentale et des comparaisons périodiques des étalons nationaux avec les étalons internationaux ; de l'étude des étalons géodésiques, des échelles divisées, etc.; et, d'une manière générale, de tous les travaux de haute précision relatifs à la mesure des longueurs et des masses.

M. Guillaume expose les recherches qui ont conduit, au Bureau international, à l'unification de l'échelle thermométrique ainsi qu'à la complète réhabilitation du thermomètre à mercure. Ces travaux ont fait progresser considérablement la mesure des températures, et permis d'unifier toutes les recherches relatives à la thermométrie, la dilatation, la calorimétrie, l'équivalent mécanique de la calorie, etc.

Des projections font voir les divers comparateurs employés au Bureau international : comparateur à dilatation, comparateur Brunner pour les règles métriques, comparateur pour les règles géodésiques jusqu'à 4 m. comparateur universel pour toutes les longueurs jusqu'à 2 m.

Ces divers instruments ont permis la mesure de la dilatation et de l'équation des étalons métriques, qui ont réalisé l'unification mondiale des mesures; la détermination des étalons employés à la mesure de la terre, d'où l'unification du réseau géodésique dans le monde entier; la détermination des unités fondamentales des autres systèmes (britannique, etc.); l'étude des subdivisions et des multiples du mètre, etc.

M. Guillaume expose les travaux qu'il a consacrés à l'étude de l'anomalie des aciers au nickel, entrepris avec la coopération de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville.

Les aciers au nickel n'obéissent à la loi des mélanges pour aucune de leurs propriétés. Un alliage à 36 °/₀ de nickel, l'*invar*, est sensiblement dépourvu de dilatabilité, ce qui le rend très précieux dans une foule d'applications, notamment en géodésie, en chronométrie, et même dans l'art de l'ingénieur : transmission des signaux, mesure des flèches des ponts. tubes de chaudières, etc. Un alliage de la même série, dont la dilatabilité est égale à celle du verre, est employé en remplacement du platine, dans la fabrication des lampes à incandescence.

Mais surtout l'alliage non dilatable sert à la mesure des bases géodesiques au moyen des fils tendus sous un effort constant, méthode imaginée par M. Jäderin, et que MM. Benoît et Guillaume ont transformée. au Bureau international, en une méthode de haute précision. Par l'emploi de cette méthode, le coût de la mesure d'une base est réduit à 2 0/0 de ce qu'il était par les anciens procédés des règles et des microscopes, tandis que la précision du millionième est conservée. Cette méthode est déjà très répandue en tous pays. La mesure la plus remarquable à laquelle elle ait donné lieu est celle de la longueur du tunnel

conserver les valeurs du mètre et du kilogramme représentés par les étalons des Archives de France, mais de construire de nouveaux étalons. du Simplon, employé comme base par la Commission géodésique suisse; cette base a été mesurée, à l'aller et au retour (40 *km*), en cinq jours, avec une concordance de 1 millionième. MM. Benoît et Guillaume ont, mesuré, par les mêmes procédés, à la demande de la Compagnie des Forges d'Hautmont, la distance, égale à 168 m, des culées d'un pont projeté sur la Rance, dans des conditions où les procédés géodésiques ordinaires n'étaient pas applicables. Un fil tendu en une seule chainette a permis une mesure rapide et très précise.

Depuis quelques années, le Bureau international s'est occupé, soit seul, soit en collaboration avec la Section technique de l'Artillerie, de la détermination des étalons à bouts servant dans l'industrie. Les valeurs de la première série d'étalons, déterminées au Bureau international, ont permis d'établir, dans la suite, des étalons au nombre de plusieurs milliers, dont la valeur vraie est égale à la valeur nominale au millième de millimètre près. Ces étalons, répandus dans les ateliers de l'Artillerie, ont fait disparaitre toutes les difficultés résultant, autrefois, des erreurs des étalons employés dans la fabrication. Des séries d'étalons étudiées au Bureau international ont été remises aux Gouvernements Anglais, Espagnol et Russe, ainsi qu'à divers Établissements Scientifiques ou Industriels. Ils servent de types pour des unifications semblables à celle qui a été pratiquée en France.

M. Guillaume décrit rapidement les balances du Bureau international et quelques uns des travaux auxquels elles ont donné lieu, puis il termine en parlant de l'organisation générale du Système métrique et de son expansion; il mentionne l'unification du carat sur la base métrique, (200 mg), qui s'opère actuellement en tous pays sur l'initiative du Bureau international; et il recommande, pour éviter les critiques que ne ménagent pas les adversaires du Système métrique, de renoncer à l'emploi de toute locution (tel le HP, abréviation du cheval-vapeur du Système britannique, de 550 pieds-livres par seconde) qui ne soit pas rigoureusemont métrique.

M. le Président dit qu'il est heureux de se faire l'interprète du Comité et de la Société pour remercier M. Guillaume de son instructive conférence. Il semble naturel qu'un grand pays comme la France qui, le premier, a réalisé sur toute l'étendue de son territoire l'unité des poids et mesures, ait été choisi pour siège du Bureau International des Poids et Mesures; mais, s'il continue à mériter cet honneur, il le doit surtout aux deux éminents physiciens, MM. Benoît et Guillaume, qui dirigent ce Bureau avec tant d'autorité. Ils ont créé un foyer d'études, de recherches, de découvertes pratiques et aussi d'expansion mondiale du Système métrique qui rend les plus grands services aux ingénieurs et aux industriels de tous les pays : leur œuvre justifie l'intérêt que lui témoignent les nations qui contribuent à son entretien.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. M.-V.-N. Bernard de Marigny, B.-J.-E. Bezault, A. Fa-

biato, M.-L. Frois, V.-M. Sauvageon, Ch. Boulanger, comme membres sociétaires titulaires.

MM. A. Bardeau, H.-A. Carles, A.-J. Carpentier, Ch.-A. Cayatte, J.-J.-M. Dubreucq-Pérus, E. Gauthronet, A. Grenon, F. Hoton, J. Krassnoff, E. Prinçaud, E. Marie, E. Arrego Pardo, A. Liguori, U. Samatan, E. Schnoor, R. Torretti, sont admis comme membres sociétaires titulaires :

MM. F. Robin et M. M. Vezet comme membres Sociétaires Assistants et

M. E. Duprat comme Membre Associé.

La séance est levée à onze heures un quart.

L'un des Secrétaires techniques,
P. BOUZANQUET.

ÉTAT ACTUEL ET AVENIR

DE

L'AVIATION

PAR

M. Rodolphe SOREAU.

Messieurs, lorsque, il y a déjà quinze ans, je fis à notre Société ma première Communication sur la Navigation aérienne, ma conclusion à l'égard des ballons dirigeables fut la suivante : « Tout fait prévoir que notre siècle — c'était alors le XIXe, — tout fait prévoir que notre siècle, dont une des grandes gloires est d'avoir réalisé la locomotion rapide sur la terre et sur l'eau, verra, avant de disparaître, la locomotion aérienne atteindre les vitesses de ses deux aînées » (1).

Cette prédiction, qui semble presque puérile à distance, n'était alors rien moins que subversive ; elle allait à l'encontre des idées généralement reçues, même dans les milieux scientifiques. Et bien petite était à cette époque la phalange des prétendus visionnaires qui donnaient aux mémorables expériences du colonel Renard la signification, pleine de promesses, que, pourtant, elles portaient en elles. Aujourd'hui, les magnifiques raids du dirigeable *Patrie*, couvrant en 6 h. 45 les 250 km de Chalais à Verdun, — d'où il devait si malheureusement s'échapper, — la performance remarquable du dirigeable *Ville-de-Paris*, ballon de grand tourisme allant, sans autre préparation, prendre la place du fugitif, ont prouvé au moindre paysan de France, et d'ailleurs, que la navigation aérienne par le moins lourd que l'air est devenue une réalité vivante et de haute utilité.

Allons-nous assister à pareil développement du plus lourd que l'air ? Que valent ces retentissantes expériences de vol

(1) *Le problème de la direction des ballons*, Bulletin de février 1893.

mécanique exécutées ces temps derniers, et dans lesquelles, pour la première fois, l'homme est enfin parvenu à réaliser quelque peu ce rêve, dont on retrouve la hantise jusque dans les fables de la mythologie : évoluer dans les airs à la manière des oiseaux? Après les superbes envolées des frères Wright, de MM. Farman, Delagrange et Blériot, il ne saurait plus être question de simples bonds heureux dans l'espace, ainsi qu'on l'a prétendu lors des premiers essais de M. Santos-Dumont. Mais les aéroplanes mécaniques sont-ils condamnés à évoluer au dessus de terrains soigneusement choisis pour l'essor et l'atterrissage; ou bien pourront-ils un jour se risquer, et risquer leurs passagers, sur ces routes aériennes où les ont devancés les ballons dirigeables, avec une si parfaite maîtrise et, pour les nôtres du moins, avec une si grande sécurité? Telles sont, n'est-il pas vrai, les questions que vous vous posez, et dont le passionnant intérêt vous a fait venir en si grand nombre à cette conférence. Peut-être aussi, vous rappelant ma prédiction d'il y a quinze ans sur les dirigeables, attendez-vous de moi que je formule ici une opinion réfléchie, non seulement sur l'état actuel de l'Aviation, mais encore et surtout sur son avenir. Quelque témérité qu'il y ait à prophétiser en pareille matière, je ne veux pas me dérober à cette attente : aussi bien, la constante bienveillance que vous m'avez témoignée me fait comme un devoir d'essayer tout au moins de répondre à votre désir, bien conforme d'ailleurs au rôle d'avant-garde de notre Société (1).

Une classification déjà ancienne répartit les machines volantes en trois groupes : ornithoptères, hélicoptères et aéroplanes. Cette classification, acceptable s'il ne s'agit que de différencier les dispositions générales des trois sortes d'appareils, est factice quand elle prétend différencier leur principe : au fond, toutes ces machines sont des aéroplanes à voilures plus ou moins compliquées dès qu'elles se déplacent au dessus du sol (et que serait un navire aérien qui ne se déplacerait pas?).

L'expérience et la théorie sont d'accord pour donner la supé-

(1) Quand la présente Communication a été faite, à la séance du 24 Janvier, le kilomètre venait d'être parcouru depuis onze jours par M. Farman. Au cours des quelques mois nécessités par l'impression de ce Mémoire et par le développement de plusieurs chapitres (ma Communication ayant été préparée hâtivement, pour remplacer celle d'un collègue empêché), l'Aviation s'est développée avec une rapidité quasi stupéfiante : c'est de 100 km qu'il s'agit aujourd'hui, c'est de plusieurs centaines de kilomètres qu'il s'agira demain. Mes conclusions, relatées dans le procès-verbal de la séance du 7 février, n'étaient donc pas exagérées; elles se trouvent même confirmées plus tôt que je n'osais l'espérer.

J'ai tenu à compléter ma rédaction primitive en faisant figurer dans ce Mémoire, autant que cela m'a été possible, les plus récents résultats obtenus.

riorité à l'aéroplane proprement dit. C'est à cet appareil que je limiterai ma Communication, qui comprendra trois Parties :

Dans la première, j'exposerai les principes fondamentaux de l'aéroplane et j'essaierai d'en donner une technique rationnelle ;

Dans la deuxième Partie, je ferai un court historique des principaux essais, j'évoquerai les origines du mouvement vers l'Aviation que ces dernières années ont vu naître, puis je ferai revivre devant vous les récentes envolées d'aéroplanes, grâce à la magie du cinématographe, imaginé par le professeur Marey précisément pour analyser les manœuvres des oiseaux, ces aéroplanes dont l'observation sera toujours une source de réflexions fécondes;

Dans la troisième Partie, j'examinerai quels perfectionnements il est possible de concevoir dans les divers organes constitutifs de l'aéroplane. Nous jugerons alors ensemble si les progrès semblent limités par des manières d'asymptotes infranchissables qui réduisent le rôle du vol mécanique à un sport intéressant, mais sans grande portée, ou si, au contraire, ils peuvent être suffisants pour légitimer de plus larges espoirs.

PREMIÈRE PARTIE

TECHNIQUE DE L'AÉROPLANE

A. — Étude de la Voilure.

LES DEUX COMPOSANTES F ET H DE LA PRESSION (1) SUR UNE VOILURE D'AÉROPLANE.

Se soutenir en se propulsant, tel est le principe essentiel de l'aéroplane. En d'autres termes, la sustentation est le résultat de la propulsion, et, par suite, de la vitesse. « Pas de vitesse, pas de vol », dit excellemment Mouillard dans son livre *l'Empire de l'air*, qui renferme de si judicieuses observations sur le vol des oiseaux.

La traction ou la poussée du propulseur joue le même rôle que la traction de la corde dans le cerf-volant : elle empêche l'appareil de céder à l'action du vent relatif, qui peut ainsi déterminer sur la voilure une pression dont la composante verticale doit égaler le poids total de l'aéroplane monté.

Jusqu'à ces dernières années, il était impossible de réaliser cette égalité. Augmenter la composante verticale, d'une part en donnant à l'aéroplane une vitesse suffisante, d'autre part en maintenant sa voilure aux inclinaisons propices; diminuer considérablement le poids, en faisant des constructions légères, quoique rigides, et surtout en créant des moteurs à grande puissance sous un faible poids; enfin, assurer la stabilité de tout le système : tel a été le triple problème qui s'est posé.

La solution n'est pas l'œuvre exclusive de quelques-uns. Tout

(1) Le mot *pression* est ici synonyme de *poussée*, suivant l'usage courant dans les écrits sur l'Aviation, usage auquel je n'ai pas cru devoir déroger ici. Mais le mot *poussée* serait plus conforme à la terminologie scientifique actuelle, dans laquelle la pression est le quotient d'une force par une surface.

au contraire, il faut bien reconnaître qu'en dépit de nombreuses recherches (qui ont eu leur importance et leur mérite), il n'a été cependant accompli directement, en vue de l'Aviation même, aucune de ces découvertes décisives qui résolvent subitement une question, ainsi que l'histoire des inventions nous en fournit quelques exemples. C'est ce qui serait arrivé si un homme de génie eût créé, il y a vingt ans, un moteur pesant quelques kilogrammes par cheval, et l'eût appliqué à un aéroplane ayant tant soit peu de stabilité. Mais, jusqu'ici, l'Aviation a bénéficié le plus souvent de progrès réalisés autour d'elle et en dehors d'elle, notamment dans la construction des moteurs légers; ceux-ci, d'ailleurs, ne sont pas dus uniquement au prodigieux essor de l'industrie automobile : la construction des canots rapides et des ballons dirigeables contribua aussi à leur réalisation. Les premiers aéroplanes ont été une résultante fatale de ces progrès.

Cela est si vrai qu'il n'a vraiment manqué qu'un moteur léger à quelques précurseurs de l'ère actuelle : à Cayley, notamment, qui conçut, il y a cent ans, un aéroplane extrêmement remarquable; à Pénaud, qui fit voler, en 1871, un aéroplane de petite taille, et projeta, avant sa mort prématurée, la construction d'un grand appareil assurément supérieur à nombre de conceptions plus récentes. Mais le moteur léger était tout à fait indispensable. Et il n'est pas exact de croire qu'avec un peu plus de persévérance et de sagacité on aurait pu résoudre, il y a un demi-siècle, le problème de l'aéroplane, comme l'imaginent quelques écrivains insuffisamment pénétrés du degré d'importance de la légèreté du moteur. A cette époque, l'état de l'industrie ne permettait absolument pas d'avoir un moteur approprié. L'importance de cette légèreté, beaucoup plus décisive qu'on ne l'imagine d'ordinaire, résultera nettement de la présente étude.

Pour que la composante verticale de la pression puisse faire équilibre au poids, il est nécessaire, même encore aujourd'hui, de satisfaire à la loi des faibles inclinaisons de la voilure sur la trajectoire, loi que j'énonçais ainsi dans mon Mémoire de 1902 : « Un calcul élémentaire montre que, même avec les moteurs les plus légers, l'inclinaison de la voilure doit se maintenir entre des limites très rapprochées : si le courant d'air la frappe en dessus, c'est la chute rapide, presque verticale; c'est la catas-

trophe qui mit fin brutalement aux si curieuses expériences d'Otto Lilienthal; s'il la frappe en dessous, mais sous un angle supérieur à quelques degrés, c'est l'insuffisance de la réaction sustentatrice, c'est la chute plus ou moins lente suivant une trajectoire inclinée. Il faut donc, pour résoudre le problème, maintenir, d'une façon certaine, l'inclinaison entre des limites espacées de quelques degrés (1) ». Non seulement l'inclinaison ne doit pas devenir négative, mais encore elle ne doit pas descendre au-dessous d'une certaine limite, sans quoi le couple redresseur formé par le poids de l'aéroplane et la composante verticale serait trop faible pour assurer la stabilité longitudinale.

Les véritables caractéristiques de la pression sur la voilure sont les composantes F et H qu'elle donne normalement et tangentiellement à la trajectoire, car, à chaque instant, une voilure d'aéroplane fait corps, en quelque sorte, avec l'élément de trajectoire qu'elle parcourt.

L'évaluation de F et de H, ainsi que la détermination de la position du centre de pression, forment donc la préface nécessaire à l'étude de l'équilibre et de la stabilité de l'aéroplane. Nous allons en aborder l'examen.

Sur l'emploi du calcul en Aérodynamique appliquée.

Mais, auparavant, j'éprouve le besoin d'ouvrir une parenthèse pour vous dire dans quel esprit je chercherai à traduire les phénomènes et à développer les calculs.

En Aérodynamique, plus que dans toute autre branche de la Mécanique appliquée, l'emploi de l'appareil mathématique et l'introduction des principes de la Mécanique rationnelle, — qui ne sont rigoureusement valables que pour les *êtres de raison* créés par les théoriciens, — peuvent conduire aux résultats les plus décevants et les plus trompeurs, si l'on n'a soin de toujours les vérifier et les corriger par l'expérimentation. Et c'est à l'Aérodynamique qu'aurait pu penser l'humoriste qui disait qu'avec les mathématiques on arrive à démontrer tout ce qu'on veut; j'ajouterai, et même ce qu'on ne veut pas : témoin, ce calcul de Navier, évaluant à 1 cheval-vapeur la puissance dépensée dans leur vol par 17 hirondelles. « Autant vaudrait, remarqua

(1) *Navigation aérienne*, bulletin d'octobre 1902.

spirituellement Joseph Bertrand, prouver par le calcul que les oiseaux ne peuvent pas voler, ce qui ne laisserait pas d'être compromettant pour les mathématiques. »

J'ai exposé ici même (1) pour quelles raisons les procédés habituels de la Mécanique ne doivent être employés qu'avec une extrême prudence dans tous les problèmes qu'intéresse l'écoulement des fluides. Je ne reviendrai pas sur ce sujet, mais je veux vous en donner quelques exemples, parce qu'ils rentrent bien dans le cadre de cette Communication :

1° Quand un plan se déplace normalement dans l'air, il reçoit une pression $\mathfrak{L}$ proportionnelle à sa surface et au carré de la vitesse :

$$\mathfrak{L} = \varphi S V^2;$$

φ est ce qu'on appelle le coefficient de la résistance de l'air.

Admettons cette loi, qui n'est pas rigoureusement exacte, mais qui suffit largement à la technique de l'Aviation. Est-il possible d'en déduire la pression que supporterait le plan s'il faisait un angle i avec sa trajectoire? Oui, ont répondu avec assurance certains mathématiciens, car il suffit de décomposer la vitesse V en deux autres, l'une dirigée dans le plan, et l'autre $V \sin i$, perpendiculaire au plan; cette dernière a seule une action, et tout se passe comme si le plan était déplacé normalement avec la vitesse $V \sin i$; la pression est donc normale à la surface et a pour valeur :

$$N = \varphi S V^2 \sin^2 i.$$

C'est la fameuse loi du sinus carré, qui a eu une influence néfaste en Aviation.

Le raisonnement qui précède est faux, parce qu'il ne tient pas compte d'un fait qu'il ne faut jamais perdre de vue, à savoir le mode d'écoulement du fluide. L'arête qui se projette en A (*fig. 1*) rabote l'air, tandis que sur la majeure partie OB du plan on constate un effet de turbine. Les pressions et les aspirations produites ne sont nullement équivalentes à celles que donnerait un courant normal au plan et de vitesse $V \sin i$. En

(1) *Réponse aux remarques sur le problème de la navigation aérienne*, bulletin de mars 1908.
Voir aussi : *Rapports et mémoires publiés par les soins de la Commission permanente internationale d'Aéronautique*, et présentés au troisième Congrès tenu à Milan, en octobre 1906 (Dunod et Pinat).



réalité, le phénomène est très complexe, et ni la loi du sinus carré, ni celle du sinus simple ne sauraient suffire à l'exprimer.

La conclusion est celle-ci : on n'a pas le droit de composer ou de décomposer les vitesses des courants; on ne peut le faire que pour les forces, exprimées par des formules cadrant avec les expériences;

2° Cette décomposition de la vitesse, dont il ne faut user qu'avec circonspection et sous toutes réserves, apparaît dans la plupart

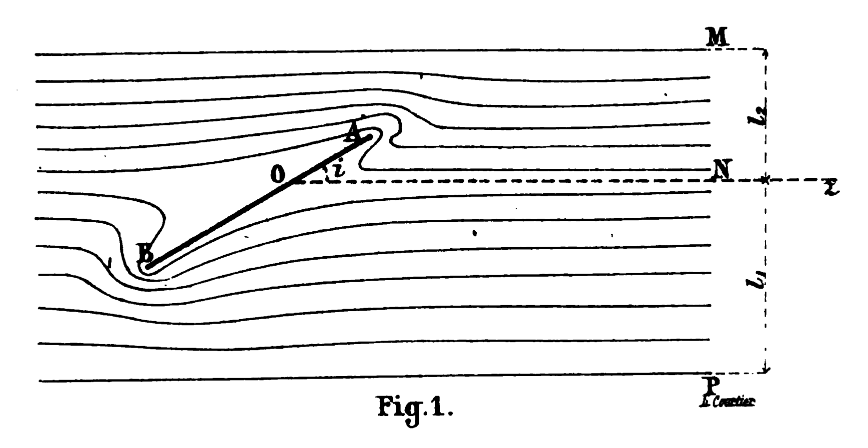


Fig. 1.

des raisonnements qu'on a imaginés pour établir les formules fondamentales. En voici un nouvel exemple, que je cite parce qu'il pourrait sembler mériter quelque crédit, en ce qu'il conduit à une composante F proportionnelle à sin i, ainsi qu'il convient pour les faibles inclinaisons.

Supposons le plan immobile, frappé par un courant de vitesse V. Admettons : 1° que les molécules décrivent les filets avec la vitesse V; 2° que ces filets, d'inclinaison zéro quand ils franchissent le plan MP, aient tous la déviation i quand ils atteignent le plan. Soit M la masse d'air qui franchit dans l'unité de temps la section projetée en $NP = l_1$: elle est proportionnelle à V et à l_1. Le théorème des quantités de mouvement donne :

$$F_1 = AV^2 l_1 \sin i,$$

$$H_1 = AV^2 l_1 (1 - \cos i),$$

d'où :

$$P = 2AV^2 l_1 \sin \frac{i}{2}.$$

Ce sont les formules proposées par Rankine. Outre les réserves que comporte ce raisonnement, il ne peut s'appliquer qu'aux filets fluides situés au dessous du plan horizontal Oz des filets neutres et à l'*avant* du plan.

Pour les filets qui s'échappent par le bord A, M. le colonel Vallier (1) a bien vu la nécessité de les considérer à part; il a admis qu'ils subissent une déviation $\pi + i$, ce qui conduit à :

$$F_2 = - AV^2 l_2 \sin i,$$

$$H_2 = AV^2 l_1 (1 + \cos i),$$

d'où, pour les composantes de la pression à l'avant :

$$F = AV^2(l_1 - l_2) \sin i,$$

$$H = AV^2[(l_1 + l_2) - (l_1 - l_2) \cos i].$$

Ainsi, d'après cette théorie, la masse fluide au dessus de la zone neutre diminuerait l'effort sustentateur ! Tout au contraire, il est évident qu'elle donne l'action la plus efficace, et les expériences manométriques le confirment : en effet, si, en chaque point du plan AB, on porte des ordonnées MN, MP proportionnelles à la pression avant et à l'aspiration arrière, on obtient des diagrammes tels que celui de la figure 2.

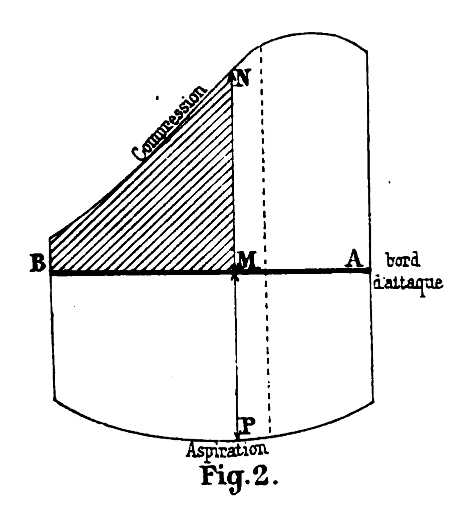


Fig. 2.

En réalité, les hypothèses de Rankine ne sont pas conformes aux faits; les molécules ne s'écoulent pas en conservant à peu près leur vitesse; au contraire, celles qui s'échappent par le bord d'attaque A la perdent en majeure partie, et la perte de force vive qui en résulte produit une pression élevée dans la région considérée.

(1) *Revue de Mécanique*, 1904 et 1905.

3° Voici un autre exemple de la prudence avec laquelle il faut user du calcul en Aérodynamique :

Depuis les travaux de M. Drzewiecki, il a été donné maintes théories de l'hélice, basées sur la conception suivante : on considère un élément de la surface ; on se donne la loi élémentaire de la pression sur cet élément, sans remarquer qu'une telle loi ne peut absolument pas tenir compte du mode d'écoulement, réglé par le contour et le pas de l'hélice, non plus que des actions réciproques des filets fluides agissant sur les éléments voisins; puis on fait jouer la machine à intégrer, et l'on obtient un certain résultat. Seulement, ce résultat échappe à la règle fondamentale de l'addition, et par conséquent du calcul intégral, qui veut qu'on n'ajoute que des unités de même nature; en effet, la loi de la pression n'est pas la même sur les bords d'attaque de l'hélice et sur les bords postérieurs, dans la zone où l'écoulement se fait à peu près suivant la perpendiculaire à l'arête d'attaque, et vers l'extrémité des pales, où l'air s'écoule dans une autre direction. Une telle méthode, on n'ignore plus qu'elle est incapable d'expliciter les caractéristiques des plans; comment pourrait-elle expliciter les caractéristiques des surfaces autrement complexes que sont les hélices ?

En vérité, nos connaissances actuelles sur le mode d'écoulement des fluides et sur les pressions locales qu'ils exercent ne sont pas assez sûres pour nous permettre de prétendre à déterminer, par le calcul, l'influence du pas, celle du contour, etc. Pour les hélices propulsives aussi bien que pour les hélices sustentatrices, il ne convient guère, avec le calcul seul, d'aller plus loin que ne l'a fait le colonel Renard, avec une prudence si éclairée, quand il se contenta de donner à l'effort de traction et à la puissance motrice des expressions de la forme suivante, où la théorie et l'expérience se trouvent d'accord (1) :

$$\Theta = \alpha n^2 d^4,$$

$$\mathfrak{G} = \beta n^3 d^5.$$

Dans ces formules, n est le nombre de tours, d le diamètre de l'hélice, α et β des coefficients volontairement indéterminés. La théorie seule est actuellement impuissante à préciser leur signi-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, novembre 1903.

fication ; c'est à une expérimentation sévère et méthodique qu'il faut laisser ce soin, ainsi qu'on l'a fait pour des surfaces inclinées, diversement allongées et orientées sur le courant.

Aussi ne donnerai-je aucune théorie de l'hélice dans ce Mémoire, d'ailleurs suffisamment rempli par l'étude de l'aéroplane proprement dit, à laquelle je veux me limiter aujourd'hui. Je me bornerai à rappeler, pour l'hélice, quelques considérations d'ordre pratique dans la troisième Partie. Je remarquerai seulement ici que, pour réaliser des expériences vraiment adéquates, il conviendrait de ne pas s'en tenir aux essais au point fixe, mais de mesurer aussi les caractéristiques en laissant l'hélice produire la translation d'appareils donnant une résistance à l'avancement déterminée. A cet égard, des expériences systématiques à bord d'un dirigeable seraient du plus haut intérêt. On peut, du reste, recourir à des procédés plus accessibles comme dépense, par exemple en reprenant la méthode imaginée en 1888 par la *British Association*, appliquant l'hélice aérienne à la propulsion de bateaux (1). Dans cet ordre d'idées, les essais d'hydroplanes peuvent donner les plus utiles renseignements.

Ces quelques aperçus doivent vous rassurer sur l'usage que je ferai ici des mathématiques. Les expressions des forces en jeu seront données par des lois approchées, mais du moins conformes aux observations. Dans le même esprit, et à l'exemple du colonel Renard, je remplacerai systématiquement dans les calculs le sinus et la tangente de l'inclinaison de la voilure par cette inclinaison, et son cosinus par 1. Ce faisant, j'obéis à un souci plus élevé que celui de simplifier les calculs : c'est une complication *sans effet utile* que d'exprimer une quantité avec une rigueur que ne comporte pas l'ensemble de la théorie. Cette apparence de rigueur devient assez plaisante quand, pour faire apparaître des conclusions, il faut remplacer finalement le sinus par la tangente, ou inversement, alors qu'il eût été si simple de les confondre dès l'abord avec l'angle, lequel a, comme chacun sait, une valeur intermédiaire (2).

Après ces réflexions, on s'étonnera peut-être du développement mathématique que je donne à certaines parties, notamment

(1) R. Soreau et E. Henry. *L'Aéronaute*, mars 1895.

(2) C'est cette valeur trigonométrique de l'angle qui est prise dans tous les calculs qui suivent. On pourrait en déduire des formules où l'angle serait évalué en degrés ou en grades.



à l'équilibre et à la stabilité longitudinale de l'aéroplane. Mais ces calculs, venant après l'étude expérimentale de la voilure, sur laquelle ils s'appuient, échappent par là même aux dangers des théories *ex cathedra*. S'ils enregistrent les incertitudes que l'expérience n'a pu lever, ils bénéficient de ce qu'elle a de sûr, et ne sauraient, en tout cas, conduire à des résultats fantaisistes. Ce caractère n'est nullement altéré par l'intervention de l'appareil mathématique. Je n'ose espérer en convaincre ceux qui ne croient pas au calcul en dehors de la règle de trois, encore que celle-ci soit bien dangereuse entre les mains de personnes inexpérimentées : témoin cet aéronavigateur célèbre qui, pour doubler la vitesse de son navire, se proposait de commander un moteur d'une puissance double. Puis-je du moins espérer convaincre ceux qui, oubliant l'exemple des Pénaud, des Dupuy de Lôme et des Renard, sans compter tous ceux qu'offre notre Société, ont cru observer que les x et les y atrophient les facultés créatrices?

Influence de l'inclinaison de la Voilure.

Considérons, en premier lieu, un aéroplane réduit à sa plus simple expression : un plan de surface S et de poids P se déplaçant à la vitesse V suivant une trajectoire horizontale, avec laquelle il fait l'angle i. Il supporte une pression :

$$\mathfrak{P} = \varphi S V^2 f(i),$$

$f(i)$ étant une fonction sur laquelle nous ne ferons aucune hypothèse. Nous allons, au contraire, déterminer quelle doit être sa forme pour que le vol soit possible.

La pression est très sensiblement perpendiculaire au plan, comme l'expérience l'a montré, et nous pouvons, dans ce calcul de première approximation, admettre cette perpendicularité. La composante verticale de $\mathfrak{P}$ doit faire équilibre au poids P, et, comme nous prenons $\cos i = 1$, nous avons :

$$P = \varphi S V^2 f(i).$$

Il n'en faut pas davantage pour nous donner des indications

intéressantes. En effet, l'effort de traction suivant la trajectoire est $\Theta = \varphi S V^2 f(i) \sin i$. Le travail a donc pour expression :

$$\mathfrak{T} = \varphi S V^3 f(i) \sin i,$$

d'où, en éliminant V :

$$\frac{\mathfrak{T}}{P} = \sqrt{\frac{\sin^2 i}{f(i)} \cdot \frac{P}{\varphi S}}.$$

Je vais en déduire l'inexactitude de la fameuse loi du sinus carré ; on aurait alors, en effet :

$$\frac{\mathfrak{T}}{P} = \sqrt{\frac{P}{\varphi S}}.$$

C'est exactement le travail que dépenserait le volateur pour se soutenir, mais sans avancer. D'où cette conclusion, d'ailleurs fausse, que formulait Landur en 1860 : « Quel que soit le système que l'on emploie pour s'enlever en l'air, le travail mécanique à dépenser, uniquement pour se soulever, sera à peu près le même si l'appareil est judicieusement combiné. » Pour tout aéroplane, et en particulier pour l'oiseau, il faudrait ajouter à ce travail celui qui est nécessaire pour vaincre la résistance à l'avancement. Il en résulterait qu'un oiseau en plein vol développerait plus d'énergie musculaire qu'à l'essor, ou que pour se soutenir en un point : cela est en contradiction flagrante avec l'observation la plus superficielle du vol, et suffit à condamner la loi du sinus carré. D'ailleurs, cette loi conduit, tout comme l'a fait Navier avec la théorie dite orthogonale, à évaluer à 1/17e de cheval-vapeur la puissance dépensée par une hirondelle.

Que doit donc être la fonction $f(i)$ pour que le vol soit possible ? Il suffit simplement que l'on ait, ainsi que l'avaient pressenti Borda, puis G. Cayley :

$$f(i) = \lambda \sin i,$$

λ étant une fonction de i de valeur finie pour les faibles inclinaisons. L'expression du travail devient, en effet, en remplaçant sin i par i :

$$\frac{\mathfrak{T}}{P} = \sqrt{i \frac{P}{\varphi\lambda S}}.$$

La vitesse qui produit la sustentation est donnée par une formule analogue :

$$V = \sqrt{\frac{1}{i} \frac{P}{\varphi \lambda S}}.$$

On voit que le travail pour soutenir une surface pesante est d'autant plus faible que λ est plus grand et que *i* est plus petit. Il tend même vers zéro en même temps que *i*, de sorte que, théoriquement, il suffirait d'imprimer au plan une assez grande vitesse pour le soutenir en développant une puissance aussi petite qu'on voudrait. Telle fut la conclusion célèbre du professeur Langley. Malheureusement, un aéroplane comporte une nacelle, des haubans, etc., dont le déplacement à grande vitesse exige un travail moteur important. En définitive, le travail que doit fournir le volateur se compose de deux termes, l'un qui diminue, l'autre qui augmente avec la vitesse, de sorte que ce travail passe par un minimum pour une certaine vitesse, aux environs de laquelle il convient de voler.

Allongement de la Voilure.

Les deux équations précédentes montrent combien il est intéressant de fixer la valeur de la fonction λ.

Les formules sont assez nombreuses, et l'on a pu dire qu'il y en avait pour tous les goûts. C'est précisément parce que, dans l'ignorance où étaient les expérimentateurs de l'influence qu'exerce l'allongement, ils ont opéré indistinctement sur des plans de formes très diverses, et ont comparé des résultats d'expériences qui ne sont pas comparables.

Pour les plans carrés, les deux formules les plus justement employées sont les suivantes :

$$\lambda = \frac{2}{1 + \sin^2 i}, \qquad \text{(Duchemin).}$$

$$\lambda = a - (a - 1) \sin^2 i. \qquad \text{(Renard).}$$

a étant un nombre plus grand que 1 est probablement égal à 2.

Si l'on veut trouver une formule rationnelle, il convient d'élargir autant que possible le champ des observations en

faisant intervenir non seulement les grandes incidences, mais encore des allongements divers, conformément aux préceptes que j'ai développés dans une précédente Communication (1). C'est dans cet esprit qu'a été établie la seule loi qui tienne compte de l'allongement et qui comprend, comme cas particulier, la loi du colonel Duchemin (2) :

$$\lambda = 1 + \frac{1 - m \operatorname{tg} i}{\frac{1}{(1+m)^2} + \frac{2m}{1+m} \operatorname{tg} i + 2 \operatorname{tg}^2 i}, \quad \text{(Soreau).}$$

m est le rapport $\frac{l-h}{l+h}$ par lequel je caractérise l'allongement, $2h$ étant la dimension du rectangle dans le lit du vent, c'est-à-dire suivant la ligne de plus grande pente, et $2l$ la dimension perpendiculaire au lit du vent.

Pour un rectangle allongé comme le sont les ailes des oiseaux — et c'est le cas qui nous intéresse le plus, — la courbe représentative de cette formule passe *rigoureusement* par les points figurant les expériences de Langley, ainsi que vous pourrez en juger en vous reportant au graphique publié dans le Bulletin d'octobre 1902.

Puisque nous ne considérons que de faibles inclinaisons, λ reste sensiblement constant; nous lui donnerons la valeur qui correspond à l'inclinaison moyenne de la voilure. Nous verrons tout à l'heure, d'après des mesures directes, que cette constance supposée est effective : cela tient à ce qu'il existe *une inclinaison dont ne s'écarte guère un aéroplane qui réussit à voler en se tenant en équilibre.* La simplification admise est donc justifiée.

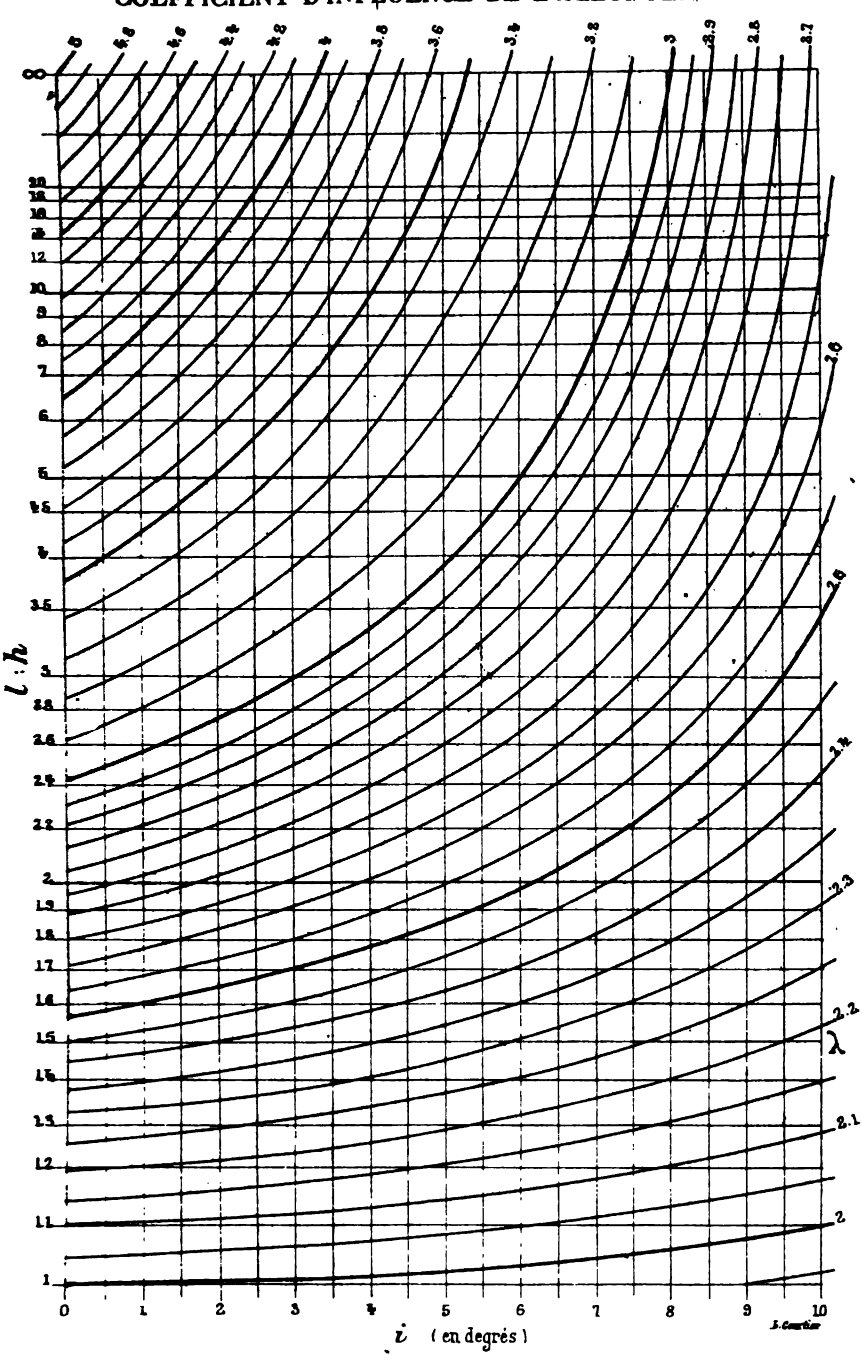
Pour éviter aux praticiens le calcul de λ, j'ai dressé une table à double entrée (table I) qui donne sa valeur d'après les valeurs attribuées soit à i et à m, soit à i et à $\frac{l}{h}$. J'ai aussi construit un abaque à entrecroisement qui remplit le même office. Il est important de remarquer que l'avantage de l'allongement se perd dès que l'inclinaison augmente un peu. Ainsi, un plan pour lequel $\frac{l}{h} = 9$, d'où $m = 0,8$, a un pouvoir sustentateur environ 2

(1) *Nouvelle loi de la résistance de l'air en fonction de la vitesse.* Procès-verbal de la séance du 17 octobre 1902.
(2) *Navigation aérienne.* Bulletin d'octobre 1902.

TABLE I. — *Valeurs de λ, coefficient d'influence de l'allongement.*

i en degrés	m (et $l : h$) $m = 0$ ($l : h = 1$)	0,1 (1,222)	0,2 (1,5)	0,3 (1,857)	0,4 (2,333)	0,5 (3)	0,6 (4)	0,7 (5,666)	0,8 (9)	0,9 (19)	1 (∞)
0	2	2,21	2,44	2,70	2,96	3,25	3,56	3,89	4,24	4,56	5
1	2	2,21	2,42	2,66	2,90	3,17	3,45	3,73	4,04	4,33	4,67
2	2	2,20	2,40	2,62	2,85	3,09	3,34	3,57	3,84	4,10	4,36
3	1,99	2,18	2,38	2,58	2,79	3,01	3,23	3,43	3,65	3,87	4,08
4	1,99	2,17	2,36	2,54	2,74	2,93	3,12	3,30	3,47	3,65	3,82
5	1,98	2,16	2,33	2,50	2,68	2,85	3,01	3,17	3,31	3,46	3,58
6	1,98	2,14	2,30	2,46	2,62	2,77	2,91	3,04	3,16	3,27	3,37
7	1,97	2,12	2,27	2,41	2,56	2,69	2,81	2,92	3,02	3,10	3,18
8	1,96	2,10	2,24	2,37	2,50	2,61	2,71	2,80	2,88	2,94	3
9	1,95	2,08	2,21	2,33	2,44	2,53	2,62	2,68	2,75	2,80	2,84
10	1,94	2,07	2,19	2,29	2,38	2,46	2,53	2,59	2,63	2,67	2,69
11	1,93	2,05	2,16	2,25	2,32	2,39	2,44	2,49	2,52	2,54	2,55
12	1,92	2,03	2,13	2,21	2,27	2,32	2,36	2,40	2,42	2,42	2,42

COEFFICIENT D'INFLUENCE DE L'ALLONGEMENT



fois plus grand que le plan carré, pour l'inclinaison de 2 degrés, et seulement 1,25 fois plus grand pour l'inclinaison de 12 degrés. D'autre part, dans la limite des inclinaisons pratiquées en Aviation, l'accroissement du coefficient λ devient insignifiant à partir d'une certaine valeur de $\frac{l}{h}$.

On conçoit facilement qu'il en soit ainsi. En effet, l'écoulement de l'air par les bords latéraux AB *(fig. 3)* soutient beau-

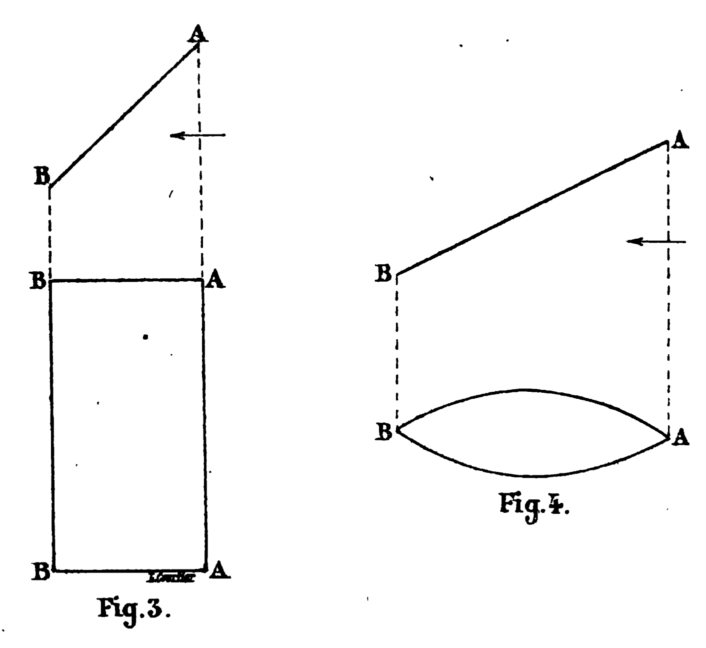


Fig. 3.

Fig. 4.

coup moins que l'écoulement par les bords AA et BB. Quand tout l'air s'échappe latéralement (ce qu'on peut réaliser avec une surface plane lenticulaire telle que celle de la figure 4), j'ai démontré qu'on a rigoureusement la loi du sinus simple, quelle que soit l'inclinaison, d'où $\lambda = 1$. Aux faibles inclinaisons, λ augmente à mesure que ce mode d'écoulement a moins d'importance relative, c'est-à-dire que l'envergure croît par rapport à la profondeur; mais cette augmentation s'éteint dès que $\frac{l}{h}$ est assez grand.

De même qu'on peut, à l'aide de la disposition de la figure 4, réaliser le cas limite de l'écoulement total par les bords latéraux (d'où $m = -1$), de même on peut réaliser assez bien l'écoulement total suivant les lignes de plus grande pente (d'où $m = 1$), grâce

à certains artifices, qui consistent à canaliser les molécules sous la voilure de façon qu'elles ne s'échappent pas latéralement : tel est le rôle du galbe transversal des ailes, depuis leur attache au corps de l'oiseau jusqu'à leur pointe. Le genre d'armature qu'ont adopté M. Esnault-Pelterie et les frères Voisin dans les aéroplanes de MM. Farman et Delagrange procure un avantage analogue. Pour des voilures ainsi disposées, on doit donc prendre des valeurs de λ correspondant à un allongement $\frac{l}{h}$ plus grand que l'allongement réel.

Expressions de F et de H pour une voilure plane.

Soit λ_0 la valeur moyenne de λ. Avec une *voilure plane faiblement inclinée*, la pression normale sur le plan est :

$$\mathfrak{L} = KSV^2 i,$$

en posant : $$K = \varphi\lambda_0.$$

Si $\mathfrak{L}$ était normale au plan, les composantes seraient :

$$F = KSV^2 i,$$

$$H = KSV^2 i^2.$$

Toutefois, certains expérimentateurs prétendent que cette perpendicularité n'est pas rigoureuse. L'Institut aérodynamique de Kutchino, en Russie, a étudié expérimentalement la déclinaison de $\mathfrak{L}$ par rapport à la normale au plan, pour des inclinaisons grandes et petites, et a trouvé des phénomènes assez complexes. Pour les *plans* faiblement inclinés sur une trajectoire horizontale, il semble que la direction de $\mathfrak{L}$ soit comprise entre la normale au plan et la verticale. Cela ne modifie pas l'expression de F, mais change la forme de H.

Or, cette forme influe notablement sur les expressions susceptibles de déterminer les caractéristiques d'un aéroplane, ainsi que je le montrerai dans la suite : il vaut donc la peine que nous consacrions à ce sujet quelques rapides réflexions, qui seront une excellente préface à l'étude des voilures incurvées.

Tout d'abord, et sous réserve des effets dynamiques produits par les remous, l'aspiration à l'arrière peut être considérée comme donnant une pression statique, donc normale à la paroi. Or, cette pression entre pour une part importante dans la pression totale, soit le tiers ou la moitié, d'après les expériences de Dines, de Nipher, de Finzi et Soldati (1).

Je n'aperçois vraiment aucune raison pour la perpendicularité de la pression produite par l'écoulement du fluide à l'avant du plan. La perte de force vive des molécules qui s'échappent par le bord d'attaque crée, bien vraisemblablement, une pression presque rigoureusement normale, mais l'effet est différent avec les molécules qui s'écoulent par le bord opposé, en produisant un effet de turbine. J'ai cherché ce que donne la méthode de Rankine limitée à cette zone, mais en introduisant une correction indispensable : elle consiste à faire varier la déviation des filets suivant une loi conforme aux photographies qu'en a prises le professeur Marey (2). J'ai obtenu ainsi :

$$F' = K'SV^2 i,$$

$$H' = \frac{K'}{2\sqrt{2}} SV^2 i^2.$$

D'autre part, le frottement des filets fluides à l'avant n'est pas tout à fait négligeable devant les termes en i^2 de la résistance à l'avancement; or, il donne une résistance sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse, ainsi que l'ont montré les célèbres expériences de W. Froude en 1872 (3).

(1) G. Eiffel. *Recherches expérimentales sur la résistance de l'air*, exécutées à la tour Eiffel, 1907.

F. E. Nipher. *Transactions of The Academy of Science of Saint-Louis*, janvier 1898.

G. Finzi et N. Soldati. *Esperimenti sulla dinamica dei fluidi*. Bulletin des Ingénieurs et Architectes de Milan, 1902.

(2) La déviation α est égale à i pour les filets très voisins du plan neutre; elle diminue d'abord assez peu pour les filets situés au dessous, puis elle devient rapidement très faible; c'est ce qu'exprime fort bien la loi suivante, que j'ai admise dans mon calcul :

$$\alpha = ie^{-\left(\frac{l}{mL}\right)^2},$$

l est la distance à la zone neutre de la veine fluide élémentaire considérée, L est la distance du premier filet sans déviation appréciable.

(3) *Rapports présentés aux Lords Commissaires de l'Amirauté, etc.*, traduits dans le *Mémorial du Génie Maritime*, 1875.

On obtient ainsi finalement :

$$F = KSV^2 i,$$

$$H = KSV^2 (ri^2 + s).$$

K est égal à $\varphi\lambda_0$ et r peu inférieur à 1, car la pression F′ correspond à la partie hachurée de la figure 2, qui n'est qu'une assez faible partie de la pression totale ; par suite, le facteur $\frac{1}{2\sqrt{2}}$ de K′, sans lequel on aurait vraisemblablement $r = 1$, n'exerce qu'une très minime influence.

Je n'attribue à cette rapide analyse aucune valeur absolue ; elle donne, toutefois, des indications qui facilitent la compréhension de ce qui se passe avec les voilures concaves. C'est, du reste, toujours sous cet aspect de *surface de référence* qu'il faut considérer le plan mince, impossible à réaliser pratiquement, et d'ailleurs peu avantageux.

La composante sustentatrice F est donc notablement augmentée par l'allongement transversal de la voilure. Aujourd'hui, tous les aviateurs admettent l'influence de cet allongement, que ma formule leur permet de chiffrer pour les surfaces planes.

Influence du profil de la Voilure ; Voilure plane équivalente.

Les aviateurs sont également d'accord pour admettre que la composante F peut être encore amplifiée en recourant à des voilures de sections curvilignes convenables. Ader, Lilienthal et surtout les frères Wright ont fait de nombreuses expériences à ce sujet, et ces derniers ont ainsi été conduits à une forme de voilure excellente : malheureusement, ils n'ont pas publié les résultats obtenus. M. R. Esnault-Pelterie a fait aussi des essais sur des voilures d'assez grandes dimensions, mais dans des conditions qui ne permettaient guère d'obtenir autre chose que des indications, comme c'était d'ailleurs le seul but de cet aviateur. Je signale d'ingénieuses expériences inédites de M. Levavasseur sur des modèles réduits, avec une bonne détermination

TABLE II. — *Valeurs des fonctions de Lilienthal.*

i	η	θ	i	η	θ
— 9°	0,000	— 0,070	16°	0,909	0,075
— 8°	0,040	— 0,067	17°	0,915	0,073
— 7°	0,080	— 0,064	18°	0,919	0,070
— 6°	0,120	— 0,060	19°	0,921	0,065
— 5°	0,160	— 0,055	20°	0,922	0,059
— 4°	0,200	— 0,049	21°	0,923	0,053
— 3°	0,242	— 0,043	22°	0,924	0,047
— 2°	0,286	— 0,037	23°	0,924	0,041
— 1°	0,332	— 0,031	24°	0,923	0,036
0°	0,381	— 0,024	25°	0,922	0,031
1°	0,434	— 0,016	26°	0,920	0,026
2°	0,489	— 0,008	27°	0,918	0,021
3°	0,546	0	28°	0,915	0,016
4°	0,600	0,007	29°	0,912	0,012
5°	0,650	0,014	30°	0,910	0,008
6°	0,696	0,021	32°	0,906	0
7°	0,737	0,028	35°	0,896	— 0,010
8°	0,771	0,035	40°	0,890	— 0,016
9°	0,800	0,042	45°	0,888	— 0,020
10°	0,825	0,050	50°	0,888	— 0,023
11°	0,846	0,058	55°	0,890	— 0,026
12°	0,864	0,064	60°	0,900	— 0,028
13°	0,879	0,070	70°	0,930	— 0,030
14°	0,891	0,074	80°	0,960	— 0,015
15°	0,901	0,076	90°	1.000	0

des composantes F et H; par contre, en passant aux grandes voilures, on perd évidemment le bénéfice de cette exactitude.

Toutefois, il n'a été dégagé jusqu'ici aucune loi générale. C'est ce que je vais tenter de faire, en m'aidant de la table publiée par Lilienthal.

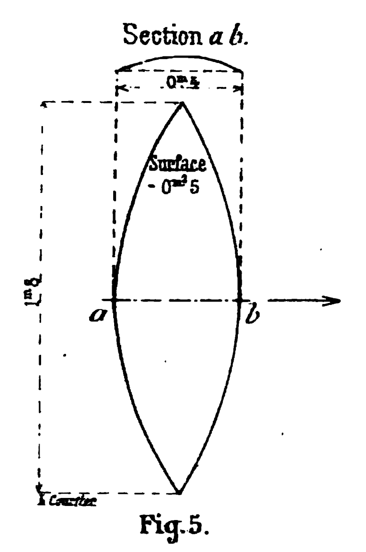


Fig. 5.

Cette table est assez fréquemment citée, malgré de grandes imperfections dans le mode opératoire et les procédés de mesure du célèbre aviateur allemand. Elle est relative à une surface ayant la forme et les dimensions indiquées sur la figure 5, avec une concavité régulière donnant une flèche de 1/12. L'inclinaison de la surface sur la trajectoire est définie par l'inclinaison i de la corde ; la pression $\mathfrak{L}$ est définie, en grandeur et en direction, par la force N normale à la corde, et par la force T suivant la corde, comptée positivement en sens inverse de la marche (1); N et T sont mises sous la forme :

$$N = 0{,}13\ SV^2\eta,$$

$$T = 0{,}13\ SV^2\theta,$$

η et θ étant des fonctions de i données par la table II. On voit que $\mathfrak{L}$ est normale à la corde quand celle-ci fait avec la trajectoire un angle de 3°, de 32° ou de 90°.

Pour discutables que soient ces valeurs, elles indiquent du moins le sens de la loi que je cherche, dans les limites des inclinaisons acceptables pour les aéroplanes.

Ce qui frappe tout d'abord dans les fonctions de Lilienthal, c'est la définition arbitraire de l'inclinaison de la surface et des composantes de la pression. Cela suffit à masquer toute loi, pour peu que le profil soit compliqué. La première chose à faire est

(1) Dans la table publiée par Lilienthal, T est au contraire comptée positivement dans le sens de la marche. (Mœdebeck, *Taschenbuch für Flugtechniker und Luftschiffer*).

Table III. — *Composantes de la pression sur une surface légèrement concave.*

i	VALEURS DÉDUITES DE LA TABLE DE LILIENTHAL					VALEURS RÉSULTANT DES FORMULES proposées	
	F	H	α	F	H	F	H
— 9°	— 0,0014	— 0,0090	0°	0	— 0,0091	0	— 0,0105
— 8°	0,0039	— 0,0093	1°	0,005	— 0,0094	0,006	— 0,0104
— 7°	0,0093	— 0,0095	2°	0,011	— 0,0095	0,012	— 0,0101
— 6°	0,0147	— 0,0094	3°	0,016	— 0,0093	0,017	— 0,0096
— 5°	0,0201	— 0,0089	4°	0,021	— 0,0087	0,023	— 0,0088
— 4°	0,0257	— 0,0082	5°	0,027	— 0,0080	0,029	— 0,0080
— 3°	0,0311	— 0,0072	6°	0,032	— 0,0070	0,035	— 0,0068
— 2°	0,0370	— 0,0061	7°	0,038	— 0,0058	0,041	— 0,0055
— 1°	0,0431	— 0,0048	8°	0,045	— 0,0043	0,046	— 0,0040
0°	0,0495	— 0,0031	9°	0,051	— 0,0026	0,052	— 0,0023
1°	0,0565	— 0,0011	10°	0,058	— 0,0005	0,058	— 0,0003
2°	0,0635	0,0012	11°	0,065	0,0018	0,064	0,0018
3°	0,0709	0,0037	12°	0,072	0,0043	0,070	0,0044
4°	0,0778	0,0064	13°	0,079	0,0070	0,076	0,0070
5°	0,0840	0,0092	14°	0,086	0,0100	0,082	0,0098
6°	0,0898	0,0122	15°	0,091	0,0130	0,088	0,0128

d'évaluer les composantes F et H de $\mathfrak{T}$ suivant la trajectoire, ce que j'ai fait à l'aide des formules de transformation :

$$F = 0{,}13\ (\eta \cos i \pm \theta \sin i)\ SV^2,$$

$$H = 0{,}13\ (\theta \cos i \pm \eta \sin i)\ SV^2.$$

La table III donne les valeurs que j'ai ainsi calculées, et celles que j'en ai déduites pour des angles α tels que :

$$\alpha = i + 8^\circ 45'$$

$8^\circ 45'$ est l'angle pour lequel F est nul. Les valeurs trouvées peuvent se représenter par les formules :

$$F = 0{,}333\ SV^2\alpha,$$

$$H = 0{,}333\ SV^2\ (\alpha^2 - 0{,}0315).$$

Comme le montre la table, l'écart entre ces formules et les valeurs de Lilienthal est insignifiant pour les inclinaisons comprises entre 3° et 12°, qui intéressent les aéroplanes (1).

Ainsi donc, j'arrive à des expressions de la forme :

$$F = KSV^2\alpha,$$

$$H = KSV^2\ (r\alpha^2 + s),$$

avec $\alpha - i =$ constante (2).

Elles sont les mêmes que pour le plan, r étant encore un

(1) Voici des expressions qui représentent, avec une rigueur presque absolue, les valeurs données par Lilienthal pour les inclinaisons α comprises entre 0° et 15° :

$$F = 0{,}333\ \alpha\ (0{,}8 + \alpha)\ SV^2,$$
$$H = [0{,}0095 - 0{,}435\ (\alpha - 0{,}03)^2]\ SV^2.$$

Mais il serait puéril de s'en tenir à la lettre aux expériences de Lilienthal, où il y a des erreurs systématiques manifestes. Les formules que je propose sont plus maniables, et ne diffèrent d'ailleurs des valeurs indiquées, aux inclinaisons intéressantes, que par des écarts tout à fait compatibles avec l'approximation que comporte actuellement la théorie de l'aéroplane.

(2) Si s est positif, le rapport $\frac{H}{F} = r\alpha + \frac{s}{\alpha}$ passe par un minimum pour $\alpha_m = \sqrt{\frac{s}{r}}$: j'appelle cet angle l'angle d'attaque optimum absolu de la *voilure*. Il existe un autre angle d'attaque optimum de l'*aéroplane*, c'est-à-dire de la voilure considérée dans ses rapports avec le navire tout entier.

coefficient voisin de 1 (l'interprétation des valeurs données par Lilienthal m'a même conduit à $r = 1$). Mais l'avantage des surfaces concaves est de donner, à égalité d'aire, un coefficient K plus élevé que le plan, et un coefficient s plus faible. Celui-ci diminue quand on passe du plan à des surfaces de plus en plus incurvées — jusqu'à une certaine limite, — et *peut même devenir négatif*, si l'on s'en rapporte aux mesures de Lilienthal.

Considérons (*fig. 6*) un plan CMD faisant l'angle α avec la trajectoire, et, par suite l'angle constant $\alpha - i$ avec la corde. Il est donc lié d'une façon rigide à la surface courbe AMB. Nous pou-

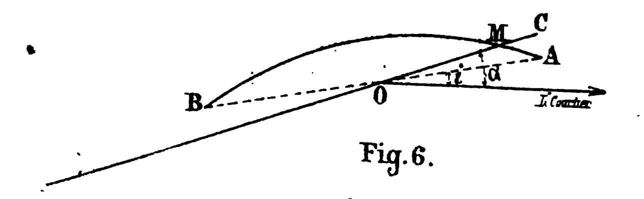


Fig. 6.

vons donner à ce plan des dimensions telles qu'il produise un effort sustentateur $F' = KSV^2\alpha$: dès lors, la composante de sa pression suivant la trajectoire sera $H' = KSV^2 (r'\alpha^2 + s')$. Comme r et r' sont sensiblement égaux, il existera les relations suivantes entre la pression sur la voilure réelle et la pression sur la voilure plane imaginée :

$$F = F',$$

$$H = H' - (s' - s) KSV^2.$$

Or $s' > s$; par suite $H - H'$ est négatif : c'est donc une *contre-résistance* due à la concavité; elle peut prendre une valeur importante avec les surfaces où s est négatif, comme dans l'exemple ci-dessus.

Ainsi se dégage cette importante proposition, démontrée ici pour la première fois :

A une surface légèrement concave correspond une surface plane plus grande, qui lui est liée d'une façon rigide, *et telle que, dans les limites des inclinaisons admises pour les aéroplanes, la surface concave produit les mêmes composantes F et H de la pression que la surface plane, la concavité introduisant en outre une* contre-résistance *à l'avancement, indépendante de l'inclinaison, et proportionnelle au carré de la vitesse.*

Inversement, la concavité permet de substituer à une voilure plane une voilure de moindre surface, tout en diminuant la résistance à l'avancement de l'aéroplane.

Je dirai que la voilure plane est de *sustentation équivalente*, ou, par abréviation, qu'elle est *équivalente*.

On croit généralement, — et divers auteurs l'ont écrit, — que la résistance à l'avancement augmente avec une voilure concave, parce que, d'ordinaire, la projection de cette voilure sur un plan perpendiculaire à la trajectoire *étale* plus que le plan mince, aux faibles inclinaisons; autrement dit, parce que la voilure offre plus de surface de front. C'est là une supposition gratuite, car la résistance dépend moins de la surface de front que du mode d'écoulement imposé aux filets d'air par la forme de la voilure. En fait, la supposition est tout juste le contraire de la réalité. La contre-résistance due à la concavité, qui est indépendante de l'inclinaison, provoque même une poussée en avant de la voilure, tant que α reste inférieur à une certaine valeur, qui est de 10 degrés environ avec la surface de Lilienthal considérée.

Cette contre-résistance doit jouer, on le conçoit, un rôle important en Aviation, et tout particulièrement dans le vol des oiseaux, où elle est moins atténuée que dans les aéroplanes par la résistance des parties non sustentatrices. Une curieuse expérience de A. Goupil en prouve l'existence (1). Un cadre entoilé de 1 m² (*fig.* 7), pesant 0,700 kg et chargé d'un poids de 3 kg, fut attaché par deux amarres *m* et *n*, et présenté contre divers courants : au courant de 4 m/s, il prit l'inclinaison de 45 degrés; puis, aux courants de 5 et 6 m/s, des inclinaisons au 1/5e et au 1/6e; à 7 m/s, l'appareil prit, au grand étonnement de l'auteur, la position indiquée par la figure : le peson interposé sur une des amarres ne marquait aucune traction, et même la surface chassait sur ses amarres contre le vent; à de plus grandes vitesses, la surface redonna un entraînement assez fort.

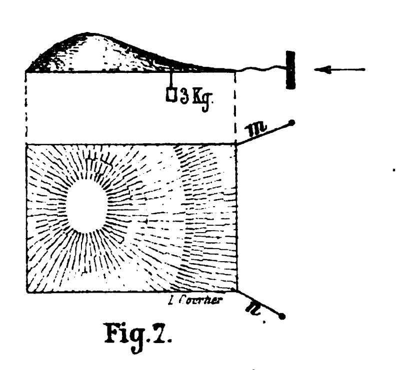


Fig. 7.

(1) *La locomotion aérienne*, 1884. On a nié ce phénomène en prétendant inexactement que son application au vol à voile conduirait au mouvement perpétuel.

Les formules que je propose s'appliquent fort bien aux voilures légèrement concaves. Aux fonctions η et θ de Lilienthal, il convient donc de substituer les fonctions $K\alpha$, $K(r\alpha^2 + s)$, qui sont des généralisations des formes applicables aux voilures planes.

L'écoulement des filets d'air par le bord d'attaque explique que l'on puisse obtenir une contre-résistance avec une surface convenablement incurvée, sans nuire à la sustentation, bien au contraire. Il n'y a donc aucune utilité, comme d'aucuns le croient, à rechercher une surface amincie le long de l'arête avant, et tangente au plan de la trajectoire suivant cette arête. On peut même donner à celle-ci une certaine épaisseur, avec une forme qui favorise la contre-résistance ainsi qu'une certaine aspiration sur le dessus de la voilure, comme la nature l'a fait pour l'oiseau. On facilite ainsi la construction des voilures, mais la forme convenable doit être étudiée avec le plus grand soin.

Il sera intéressant de vérifier, quand on aura procédé aux mesures dynamométriques nécessaires, d'une part jusqu'à quel degré de concavité s'applique ma formule de H, et d'autre part à partir de quelle incurvation le terme s est négatif.

Le profil de l'aile des oiseaux, concave à l'avant, se relève à l'arrière. Je ne m'occuperai pas ici de cette forme, parce qu'elle intéresse peu la sustentation : j'en dirai quelques mots.

Ces considérations sont établies en vue de la théorie de l'équilibre de l'aéroplane qui sera donnée plus loin. Or, cette théorie montre l'intérêt, non seulement de s, mais encore du coefficient r de α^2. Il y aurait donc lieu d'instituer de nouvelles expériences sur les voilures incurvées, soit concaves, soit à double courbure, pour rechercher si l'on peut toujours prendre $r = 1$ comme je l'ai trouvé ci-dessus, ce qui simplifierait les formules relatives à l'équilibre de l'aéroplane.

Il est clair qu'il y a lieu de définir l'inclinaison de la voilure sur la trajectoire par l'inclinaison α de la surface plane équivalente, et non par l'inclinaison i de la corde, ligne de repère arbitraire sans aucune signification. Ainsi se précise ce qu'il convient d'entendre par *inclinaison d'une voilure*. Nous verrons de même plus loin ce qu'il faut entendre par *inclinaison d'un aéroplane* composé de plusieurs voilures, locution courante, mais dont on ne s'explique pas toujours l'exacte signification.

Coefficient d'efficacité K et Qualité q de la Voilure.

En définitive, pour les surfaces légèrement incurvées aussi bien que pour les surfaces planes, la composante F a la même expression. Et comme, dans le vol horizontal, elle doit, pour l'équilibre, être égale au poids total P, on peut dire qu'une voilure de surface S, se déplaçant horizontalement à la vitesse V sous l'inclinaison α, possède un pouvoir sustentateur :

$$P = KSV^2\alpha.$$

Le coefficient K est donc une caractéristique de la voilure, à condition qu'il garde une valeur sensiblement constante aux inclinaisons considérées, comme le suppose cette théorie. Malgré la vraisemblance de l'hypothèse, il importe de la vérifier.

Or, M. le capitaine Lucas-Girardville a calculé, d'après diverses mesures relevées au cours des expériences, les valeurs de K dans chacun des douze essais faits, le 5 octobre 1902, par les frères Wright, avec un aéroplane monté, mais sans moteur (1). La voilure avait 28,4 m²; l'aéroplane en marche pesait 114,4 kg ou 118,2 kg, suivant qu'il était monté par l'un ou l'autre des deux frères. Voici le tableau des valeurs calculées pour K, ordonnées par rapport aux valeurs croissantes de la vitesse :

P = 114,4 kg		P = 118,2 kg	
V (*m/s*)	K	V (*m/s*)	K
8,93	0,398	9,27	0,393
9,68	0,377	9,53	0,385
10,14	0,374	9,95	0,387
11,15	0,386	9,97	0,387
11,18	0,383	11,42	0,382
11,68	0,398	11,54	0,384

(1) *Revue d'Artillerie*, octobre 1906.

La valeur moyenne est $K = 0{,}385$, et l'écart sur cette valeur moyenne ne dépasse pas $\pm$ 3 0/0.

Par tout ce qui précède, on voit que K est, en quelque sorte, toujours *soudé* à S, ce qui a conduit certains auteurs (colonel Vallier, capitaine Ferber) à désigner par S le produit KS, qu'on pourrait appeler la *surface efficace*. Pour éviter toute confusion, je trouve préférable de désigner par S la surface réelle de la voilure, ou, si l'on veut, sa projection sur un plan sur lequel on la poserait, et de laisser en évidence K, que j'appelle le *coefficient d'efficacité*.

En prenant, d'après ma formule de la page 27, les valeurs de λ correspondant à l'allongement, pour les divers angles d'incidence réalisés dans les essais des frères Wright, M. Lucas-Girardville trouva la valeur moyenne $\lambda_0 = 3{,}2$. Il caractérisa le profil de la voilure par le rapport $\frac{0{,}385}{3{,}20} = 0{,}12$.

On frappe davantage l'esprit en prenant comme *caractéristique du profil* le rapport μ entre le poids que soutient la voilure considérée et celui que soutiendrait la voilure plane de même surface et de même angle d'attaque, autrement dit la projection de la voilure réelle sur le plan de la voilure équivalente. Ce rapport est évidemment $\mu = \frac{K}{\varphi\lambda_0}$, d'où :

$$K = \varphi\lambda_0\mu.$$

Si l'on adopte pour φ la valeur 0,08 — qui correspond aux plus récentes mesures du coefficient de la résistance de l'air, — on a, pour la voilure Wright considérée, $\lambda_0 \doteq 3{,}22$, et $\mu = 1{,}5$. En d'autres termes, le *bilan* de cette voilure s'établit comme suit : son allongement fait plus que tripler le coefficient de la résistance de l'air, et sa concavité augmente de moitié le nombre ainsi trouvé ; bref, le coefficient d'efficacité K est $3{,}2 \times 1{,}5 = 4{,}8$ fois plus grand que φ. Ce produit $\lambda_0\mu = q$ mesure donc la *qualité de la voilure*. Comme il convient, la qualité q, égale aussi à $\frac{K}{\varphi}$, est indépendante de l'altitude (1).

(1) Il ne faut pas confondre la qualité q, par laquelle je caractérise la voilure seule, avec la qualité sustentatrice Q du planeur, par laquelle le colonel Renard caractérisait l'aéroplane pris dans son ensemble (*Aérophile*, octobre 1903). La théorie de l'aéroplane donnée plus loin évite l'intermédiaire de cette notion Q, et donne des calculs plus simples.

M. G. Eiffel nous exposait tout à l'heure ses recherches, si élégantes et si précises, sur la détermination du coefficient φ (qu'on confond si souvent, je ne sais pourquoi, avec le coefficient K), et concluait à une valeur comprise entre 0,08 et 0,07. Voici les valeurs trouvées par les principaux expérimentateurs; leur diversité s'explique par la difficulté des mesures, par l'influence du procédé expérimental, suivant qu'on opérait sur un manège ou en ligne droite, et, par les circonstances extérieures, suivant que l'appareil se déplaçait à l'air libre plus ou moins calme, ou bien dans une salle close où se créent facilement des remous :

Expérimentateurs.	Valeur de φ.
Smeaton	0,122
Hutton	0,081
Thibault	0,100
Morin, Piobert et Didion	0,110
Von Lössl	0,103
Desdouits	0,130
Langley	0,08475
Le Dantec	0,081
Colonel Renard	0,085
Cailletet et Colardeau	0,070
Eiffel	0,080 à 0,070

Ainsi, à mesure que les appareils se perfectionnaient, les habiles et scrupuleux expérimentateurs qui se livrèrent à ces délicates recherches abaissaient progressivement le coefficient de la résistance de l'air de 0,120 à 0,085, puis à 0,080 et même au dessous. Le pouvoir porteur qui en résultait pour l'air suivait la même progression décroissante, ce qui était bien fait pour décourager les aviateurs, — si tant est que ces obstinés fussent accessibles au découragement. Au surplus, une technique naissait, qui leur apportait de larges compensations. Les étapes de cette technique se traduisirent par des formules nouvelles. Il y eut d'abord la formule du sinus simple, qui me semble due à Borda, et qui donne une qualité voisine de 1, puis la formule de Duchemin, qui donne une qualité voisine de 2. Bien que ces lois réalisent un progrès considérable sur la loi du sinus carré, celle-ci leur a été préférée jusqu'à ces dernières années. Ch. Renard lui-même considéra longtemps que la loi du sinus

simple était une propriété de l'aéroplane à jalousies que, dès 1873, il expérimenta à Arras; ce n'est que plus tard qu'il conclut à la forme λ sin i, et proposa sa formule, d'où résulte aussi une qualité voisine de 2. Puis vint ma formule, qui donne une qualité pouvant aller jusqu'à 5. Enfin, l'introduction, que j'ai faite depuis, de la caractéristique μ du profil augmente la qualité au moins de moitié, et peut sans doute plus que la doubler (1).

Dans plusieurs aéroplanes actuels à voilure très soignée, il semble que la qualité q dépasse la moitié de la qualité de l'aile des oiseaux, tout au moins pendant les battements : résultat qui étonnera ceux qui professent, par principe, que l'oiseau est un aéroplane quasi surnaturel. Il n'est peut-être pas même un équilibriste merveilleux, mais seulement un être merveilleusement équilibré (2). Par ailleurs, l'exemple des autres modes de locomotion a montré que la mécanique industrielle dispose de moyens autrement puissants que la mécanique animale, frappée de nombreuses sujétions, notamment dans la production et le mode d'utilisation de la puissance motrice.

Meilleure sera la qualité q, plus il faudra assurer la permanence des profils, car la moindre modication en cours de route se traduirait par une diminution d'autant plus notable de la réaction verticale, ainsi que je le signalais dans mon Mémoire de 1902.

Centre de pression.

Considérons d'abord un plan rectangulaire, d'inclinaison i, et soient y_i la distance du centre de pression au centre de figure, $2h$ le côté dirigé suivant la ligne de plus grande pente.

(1) Dans sa récente brochure *Le Problème de l'Aviation*, M. J. Armengaud m'attribue une formule indépendante de l'allongement, alors que tout mon effort a porté sur la recherche d'une loi tenant compte de cet élément essentiel. Notre Collègue indique qu'il faudrait tripler au moins les coefficients donnés par M. Duchemin et par moi. Or, aux faibles inclinaisons et pour des allongements notables, ma loi multiplie par 2,5 environ la qualité donnée par le colonel Duchemin pour des surfaces *planes*. Avec $\mu = 1,5$, cela fait 3,75, c'est-à-dire plus que ne demande M. Armengaud.

(2) Une stabilité automatique quasi parfaite n'est pas impossible à réaliser, et elle l'a été déjà avec de petits appareils. Au concours d'aéroplanes institué en 1906 par l'Aéro-Club, M. Mouren nous a présenté de remarquables petits oiseaux qui, lâchés *n'importe comment*, venaient d'eux-mêmes à une position d'équilibre; s'ils rencontraient un obstacle, ils chaviraient, pour reprendre presque aussitôt leur glissade régulière. (Voir mon Rapport au Congrès de la C. P. I. A. tenu à Milan en 1907).

Notre Collègue M. R. Arnoux vient d'imaginer de petits planeurs en papier qui ont la même stabilité, grâce à un moment antagoniste qui limite les déplacements relatifs du centre de gravité et du centre de pression.

Quand on envisage toutes les inclinaisons du plan de 0 à 90 degrés, la formule anciennement admise était :

$$\frac{y_i}{2h} = 0,3\ (1 - \sin i) \qquad \text{(Avanzini)}$$

La formule que Joessel proposa plus tard pour l'eau, à la suite d'expériences manquant de précision, peut se mettre sous une forme à peu près identique :

$$\frac{y_i}{2h} = 0,305\ (1 - \sin i). \qquad \text{(Joessel)}$$

Mes expériences dans la Seine, à Argenteuil, ont prouvé que, comme pour les pressions, la loi du déplacement du centre de pression dépend de l'allongement de la surface. Pour des plans carrés, j'ai obtenu la formule :

$$\frac{y_i}{h} = \frac{1}{2(1 + 2\operatorname{tg} i)}. \qquad \text{(Soreau)}$$

Elle rend compte, d'une façon remarquable, aussi bien des expériences dans l'eau que dans l'air, ce qui donne quelque créance à cette opinion d'Helmholtz d'après laquelle, aux faibles vitesses — et il convient de considérer comme telles celles qui sont très éloignées de 335 m par seconde, vitesse de propagation des ondes dans l'air, — les lois de l'Aérodynamique seraient les mêmes *que si* l'air était un fluide visqueux et incompressible.

Pour les surfaces courbes, on sait très peu de chose sur la position du centre de pression. Voici les conclusions, assez peu précises, d'observations faites par les frères Wright sur uno surface légèrement concave : le centre de pression, qui se trouvait, pour $i = 90$ degrés, au centre de figure, se porta lentement vers le bord d'attaque quand i diminua de 90 degrés jusqu'à une certaine valeur critique ; puis il rétrograda rapidement, franchit le centre de figure, et se porta à l'arrière jusqu'à une position limite pour $i = 0$. De même, Spratt a trouvé que, pour un profil circulaire d'une courbure de $\frac{1}{12}$, le centre de pression va du centre de figure à 41,5 0/0 du bord d'attaque, valeur atteinte pour l'angle critique de 50 degrés ; il recule ensuite vers le centre de

figure, où il revient pour 17 degrés, puis il passe dans la zone arrière. Pour un profil d'une courbure de $\frac{1}{24}$, le centre de pression va du centre de figure à 37 0/0 du bord d'attaque, valeur atteinte pour l'angle critique de 30 degrés; il recule ensuite vers le centre de figure, où il revient pour 10 degrés, puis il passe dans la zone arrière (1).

Mais si on se limite aux faibles inclinaisons utilisées en Aviation, on peut se contenter de la formule approchée :

$$y_i = (a - bi)\,L,$$

$L = 2h$ étant la profondeur de la voilure.

La distance y_i peut aussi se compter sur la ligne de plus grande pente médiane à partir d'un point quelconque, et l'expression ci-dessus conserve alors sa forme : mais a est changé, b restant le même. On a ainsi :

$$y_i = l - mi,$$

avec $m = bL$, le sens positif étant le même que celui de la vitesse. C'est cette forme qui nous servira dans la théorie de l'aéroplane, où il importe de connaître b.

(1) Dans un travail encore inédit, j'obtiens la formule suivante pour la position du centre de pression sur les surfaces *à profil circulaire* :

$$\frac{y_i}{h} = \frac{\operatorname{tg} i - \operatorname{tg}\beta}{2(a \operatorname{tg}\beta + b \operatorname{tg} i + 2\operatorname{tg}^2 i)};$$

β est l'angle que forme la tangente en A avec la corde (*fig. 8*); a et b sont des coefficients qui dépendent de la courbure et de l'allongement.

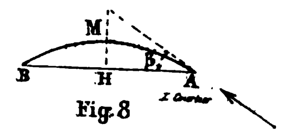


Fig. 8

Pour $\beta = 0$, b est égal à 1 si $\frac{l}{h} = 1$; on retrouve ainsi l'expression que j'ai donnée pour le plan carré.

La surface, attaquée par l'air tangentiellement au bord A, recevrait donc une pression passant par son centre de figure. On s'explique ce résultat en remarquant qu'il n'y a pas échappement des molécules par A, mais effet de turbine total vers l'arrière; les filets d'air pressent alors à peu près également sur les diverses parties de la surface, et le centre de pression est sensiblement au centre de figure.

Ces vues trouvent une confirmation dans les mesures de Spratt. En effet, soit $\frac{1}{p}$ la courbure $\frac{MH}{AB}$; on a $MH = AH \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}$, d'où :

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{p}{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - 1}.$$

Pour $p = 12$, je trouve $\operatorname{tg}\beta = 0{,}343$, d'où $\beta = 18°56'$ (Spratt indique 17 degrés).
Pour $p = 24$, je trouve $\operatorname{tg}\beta = 0{,}168$, d'où $\beta = 9°32'$ (Spratt indique 10 degrés).

Or, en Aviation, i varie généralement de 6 à 12 degrés. Si on substitue les valeurs données par ma formule pour ces deux angles, on trouve 0,305 pour la valeur moyenne de b qui convient dans cet intervalle. Cela concorde avec la valeur 0,3 donnée par Avanzini et la valeur 0,305 donnée par Joessel.

Pour un plus grand intervalle, 0 à 15 degrés par exemple, il faudrait recourir à une expression du deuxième degré $y_i = l - mi + ni^2$, car b a la valeur moyenne 0,42 de 0 à 5 degrés ; 0,32 de 5 à 10 degrés, et 0,25 de 10 à 15 degrés. Mais l'expression du premier degré suffit, en Aviation, à se rendre compte des phénomènes.

Systèmes cellulaires et systèmes a biplans.

Les systèmes sustentateurs cellulaires dérivent des remarquables cerfs-volants imaginés par un ingénieux aviateur de Sydney, M. Lawrence Hargrave, qui les présenta en 1892 à la Société royale de la Nouvelle-Galles du Nord. Tout le monde connait ces sortes d'appareils, essentiellement formés par deux boites sans fonds superposées. Une observation attentive révèle que, dans les cellules rectangulaires d'un cerf-volant, les plans opposés s'incurvent de manière à se rapprocher ou à s'éloigner, suivant leur position : c'est la preuve qu'elles sont traversées par *un flux d'air* comprimé en certaines parties, dilaté dans d'autres, flux auquel j'attribue en partie la remarquable stabilité des cerfs-volants Hargrave.

Les cellules ont été appliquées aux aéroplanes, d'abord en Amérique, puis en France ; dans le *XIV bis* de M. Santos-Dumont, le gouvernail de profondeur était cellulaire, et le système sustentateur principal formé de cellules juxtaposées. Toutefois, à l'exemple des frères Wright, les aviateurs furent conduits à supprimer les faces verticales, dont nous verrons plus loin le rôle et l'effet dans les virages : on eut ainsi le biplan sans cloisonnement. Dans le premier type d'aéroplane conçu par les frères Voisin pour MM. Farman et Delagrange, le système sustentateur principal est un biplan non cloisonné, avec, à l'arrière, un système secondaire composé d'une cellule coupée, dans sa partie médiane, par le gouvernail vertical de direction ; ce type possède à la fois une bonne stabilité par temps calme, et une suffi-

sante docilité dans les virages. A la suite d'essais de laboratoire, MM. Voisin ont cloisonné le biplan de leurs plus récents appareils, et je dirai plus loin l'effet qui en résulte pour les virages.

Qu'il s'agisse d'une cellule ou d'un biplan, nous ne considérerons ici que leurs deux surfaces sustentatrices, et nous supposerons qu'elles sont identiques et parallèles. Dans le biplan de droite de la figure 9, la surface plane équivalente EF est parallèle aux deux surfaces CD, et à mi-distance ; de plus, la distance

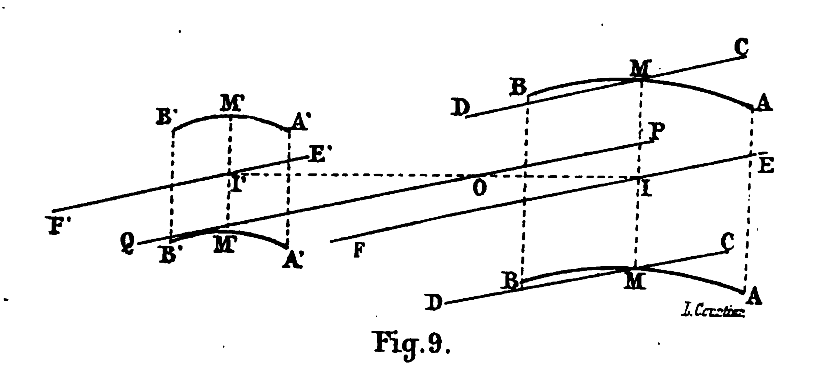


Fig. 9.

du centre de pression, comptée à partir de I, suit la même loi $y_i = l - mi$ que pour les plans CD. On voit de suite les deux avantages du biplan : 1° remplacer une grande surface par deux autres environ moitié moindres, ce qui facilite beaucoup la construction ; 2° réduire les déplacements du centre de pression à peu près dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$, soit 0,7.

Ces avantages seraient encore accentués avec un triplan, qu'il pourra être intéressant d'employer pour transporter des charges utiles de 500 kg et plus, sans recourir à de trop grandes vitesses.

Considérons maintenant un système formé de deux biplans, à surfaces AB, A'B' inégales, mais *parallèles* en ce sens que leurs surfaces planes équivalentes sont parallèles. Soient KS, K'S' les surfaces efficaces de AB, A'B'. Un calcul élémentaire montre que le centre de pression se déplace dans un plan fixe PQ, parallèle à EF, E'F' et à une distance de ces plans dans le rapport $\frac{K'S'}{KS}$; par conséquent le plan PQ est d'autant plus rapproché du biplan (AB, AB) que la surface de ce dernier est plus grande. Ainsi, dans

le premier aéroplane de M. Farman, où $\frac{K'S'}{KS} = \frac{1}{4}$ environ, PQ est beaucoup plus rapproché de EF que ne l'indique la figure schématique 9, pour la clarté du dessin.

Soit O le point où II' coupe PQ : la loi de déplacement du centre de pression étant $l - 0{,}3\,L$ pour la surface AB, $l' - 0{,}3\,L'$ pour la surface A'B', la distance y_i du centre de pression général au point O, suivant PQ, est donnée par une expression de la forme :

$$y_i = l_1 - 0{,}3\,L_1,$$

dans laquelle l_1 est compris entre l et l', L_1 entre L et L'.

Les variations du centre de pression se cantonnent donc sur une faible étendue, tout à fait insignifiante par rapport à la longueur totale AB' de la voilure. C'est l'avantage — qu'on peut d'ailleurs obtenir différemment, — des systèmes dits *en tandem*, qu'ils soient composés de deux biplans ou de deux monoplans, bien entendu quand l'arrière forme surface sustentatrice (auquel cas elle est généralement incurvée), et non simplement surface d'empennage (auquel cas elle est généralement plane).

L'intérêt de cantonner les déplacements du centre de pression résulte de ce que, quand l'équilibre longitudinal est rompu, c'est-à-dire quand on a $F < P$, le couple redresseur est proportionnel à la plus petite des deux forces, par conséquent à KSV^2i. Il importe donc que i ne soit pas nul, ni même trop faible. Or, on peut arriver à ce résultat par d'autres moyens que le dispositif en tandem, qui ne laisse pas que de comporter des inconvénients : en effet, pour réunir les deux systèmes de voilures, il faut une charpente longue, relativement lourde ou fort bien entretoisée pour qu'il ne s'y produise aucune flexion; on doit donc faire quelque sacrifice du côté du poids et de la résistance à l'avancement. Le biplan si remarquable qu'est l'aéroplane Wright, le monoplan qu'est l'oiseau n'ont pas leur voilure en tandem.

Je m'excuse d'avoir insisté un peu longuement sur ces préliminaires, mais vous sentez bien qu'ils dominent le problème de l'Aviation.

B. — Étude de l'Aéroplane.

Considérations générales sur l'Aéroplane, et notamment sur l'excès de puissance motrice.

Avant d'aborder l'étude mathématique de l'aéroplane, je vais développer, sans calculs, quelques aperçus intéressants.

Considérons un aéroplane qui décrit une trajectoire rectiligne, à vitesse constante; c'est donc qu'il est en équilibre. Si la trajectoire est peu inclinée, comme il convient, la composante F, normale à la trajectoire, ne diffère pas sensiblement du poids total P. Mais F ne dépend que de l'inclinaison de la voilure et de la vitesse. Donc, pour chaque inclinaison, un aéroplane donné a une vitesse d'équilibre, et c'est seulement en modifiant l'inclinaison qu'on peut changer la vitesse, du moins dans les aéroplanes à surface sustentatrice constante, tels qu'on les construit actuellement. On conçoit dès lors que le champ des variations de la vitesse d'équilibre soit assez limité.

Si le moteur développe une puissance plus grande que celle qui correspond à la limite supérieure de ce champ, il faudra un exutoire à l'excès de la puissance : c'est dans les effets produits que réside, à mon sens, la différence dynamique la plus marquée entre l'aéroplane et les autres appareils de locomotion.

Sur la terre et sur l'eau, où la trajectoire s'appuie sur une surface effective, tout excès de la puissance motrice se traduit généralement par une augmentation de la vitesse réelle par rapport à la vitesse calculée; l'augmentation est d'ailleurs bien vite absorbée par la rapide croissance du travail résistant, qui est proportionnel à une certaine puissance de la vitesse réelle. Par exception, notamment si l'adhérence est faible, ou si les formes sont déterminées pour que la résistance puisse devenir très petite, l'appareil peut quitter la surface d'appui : c'est ce qui arrive dans le premier cas à des véhicules trop légers, et, dans le second, aux hydroplanes.

Le même phénomène de rapide absorption de l'excès de puis-

sance se produit au sein de l'eau et de l'atmosphère pour les appareils où la sustentation est indépendante de la propulsion. Dans ce cas, le travail résistant croît comme le cube de la vitesse, et celle-ci est rapidement enrayée, sans que le navire ait à sortir du plan horizontal d'équilibre. Comme la trajectoire peut se développer ici suivant les trois dimensions et que le navire est susceptible de se déverser, une difficulté apparaît, celle de la stabilité longitudinale, qui demande des précautions spéciales pour le sous-marin et pour le ballon dirigeable.

Dans l'aéroplane, au contraire, la sustentation exige, pour une inclinaison donnée, une certaine vitesse d'équilibre, à laquelle correspond un certain travail résistant; tout excès du travail moteur sur ce travail résistant provoque, en général, un effort sustentateur supérieur au poids total, et, par suite, un mouvement ascensionnel qui fait sortir l'appareil du plan d'équilibre. Si l'excès est important, l'ascension, d'abord extrêmement rapide, se fait suivant des pentes qui peuvent être dangereuses pour la stabilité, car l'aéroplane n'a pas été prévu pour de semblables trajectoires; la vitesse diminue alors très vite, et une chute brutale ne tarde pas à se produire. C'est ce qui est arrivé à tous les aviateurs qui, ayant besoin d'un moteur de 25 ch par exemple, en ont emporté un de 50 pour « se tenir large » : ils firent des envolées sensationnelles, brusquement suivies de chutes presque à pic.

A défaut d'une bonne évaluation de la puissance motrice nécessaire par calcul ou par comparaison, il convient de la faire sur l'aéroplane même, par un entrainement calme et méthodique, en améliorant progressivement la stabilité, et en se gardant de chercher à hâter l'heure des premiers vols par l'emploi de moteurs trop puissants. Tel est, pour une bonne part, le secret des succès des frères Wright, de M. H. Farman et de M. Delagrange. Ceux qui n'ont pas opéré ainsi ont fait une école dangereuse et plus longue.

Avec un aéroplane ayant un faible excès de puissance motrice, la *sensibilité en hauteur* de la trajectoire est facilement corrigée par l'aviateur, soit en agissant sur l'inclinaison générale à l'aide de l'appareil dit « gouvernail de profondeur », soit en agissant sur la puissance motrice par l'avance à l'allumage. Mais, ainsi que je l'ai déjà remarqué, le champ des variations de la vitesse reste assez restreint. Il en est de même des variations de la capacité de chargement. Pour les étendre, il faudrait tout d'abord

donner plus de souplesse au moteur à explosions, afin de pouvoir obtenir momentanément une puissance notablement supérieure à sa puissance normale, comme le permet la machine à vapeur. Il est clair d'ailleurs que, pour arriver au moindre poids du moteur et des approvisionnements, la puissance normale doit être celle qui donne la vitesse d'équilibre et la charge habituelles.

Supposons, pour un instant, un moteur susceptible de produire pendant quelque temps un supplément important de puissance en cours de route : nous ne pourrions l'utiliser à augmenter notablement la vitesse horizontale qu'en réduisant la voilure, ainsi que le font les oiseaux.

Je disais tout à l'heure que l'aile n'a pas une qualité excessive, comme on le prétend généralement, et comme je l'ai cru pour ma part. Dans certaines circonstances, les oiseaux arrivent à l'augmenter momentanément, mais, en général, elle n'atteint pas le double de la qualité des voilures d'aéroplanes bien étudiées. A la réflexion, on conçoit qu'il en soit ainsi, puisque cette autre qualité, la vitesse, varie en sens inverse, en sorte qu'on peut formuler cette proposition : *de deux aéroplanes ne différant que par le profil des surfaces sustentatrices, celui dont la voilure est la plus médiocre doit aller le plus vite*, pourvu, bien entendu, que le moteur fournisse la puissance suffisante. Le correctif au paradoxe apparent de cette proposition est que l'aéroplane à voilure médiocre risque de ne pas s'enlever, et que le même moteur permettrait à l'autre voilure d'emporter, à la même vitesse, une charge utile plus grande. Il convient de remarquer en outre que la bonne qualité de la voilure, au point de vue de la résistance à l'avancement, augmente la vitesse d'équilibre, contrairement à ce qui a lieu pour sa bonne qualité sustentatrice.

L'influence de la qualité sustentatrice sur la vitesse est très manifeste dans les glissades des oiseaux (je ne parle pas, bien entendu, des chutes ni des « ressources », mais des glissades à vitesse constante, suivant des trajectoires rectilignes). Cette vitesse est faible pour des trajectoires peu inclinées; mais, dès que les oiseaux « rament » — suivant l'expression consacrée et d'ailleurs incorrecte, car l'aile n'agit pas comme une rame en plein vol, — la voilure a une moindre surface efficace; il en résulte pour eux la nécessité de réaliser une plus grande vitesse

pour se soutenir. Il est bien remarquable que cette circonstance s'allie précisément aux conditions de préservation de l'espèce : un oiseau rameur chassé par un rapace se met à donner des battements plus énergiques et plus précipités; c'est la fuite à tire-d'aile. Il s'impose alors une grande fatigue, qu'il peut soutenir quelque temps parce qu'il est loin, en temps ordinaire, de dépenser la puissance dont il est capable. Tout le monde conçoit qu'il acquière ainsi une plus grande vitesse horizontale : encore cela n'est-il possible que parce que sa voilure a pris une forme de surface de moindre efficacité. S'il en était autrement, le seul effet produit serait de faire décrire au rameur une courbe ascendante, qui le précipiterait vers son agresseur.

Ces quelques considérations vont se préciser dans la théorie mathématique qui suit.

Divisions générales de cette Théorie.

Comme pour tout système, le mouvement général de l'aéroplane peut se décomposer en deux : translation du centre de gravité G, rotation de l'appareil autour de G.

La Mécanique a institué des méthodes de résolution de ce problème, pour lequel il est commode de recourir aux coordonnées d'Euler (1). Ces méthodes, M. le capitaine Ferber les a appliquées à l'aéroplane; son étude est d'une très réelle élégance d'analyse, notamment dans la discussion des conditions de stabilité sous l'influence de petites perturbations (2). Mais il me parait prématuré d'aborder le problème dans sa généralité, quelque intérêt qu'il présente, parce que, en l'état actuel de nos connaissances en Aérodynamique, il faut introduire des hypothèses qui laissent aux conclusions une incertitude trop grande.

En effet, les diverses surfaces (voilure, empennage, quille, carènes, etc.), sont alors attaquées par l'air sous des incidences quelconques. Or, nous l'avons vu, c'est à peine si l'expérience a déterminé quelles pressions reçoivent des surfaces rectangulaires, planes ou légèrement incurvées, pour un déplacement rectiligne

(1) Voir *Théorie analytique de la rotation d'un solide autour d'un point fixe* dans le *Traité de Mécanique* de Collignon (livre IV, chap. IV), où la question est remarquablement exposée.

(2) *Les progrès de l'aviation par le vol plané*, 1907.

perpendiculaire à leurs côtés transversaux ; mais nous ignorons la grandeur et la position de la pression sur une surface ayant une orientation quelconque sur la trajectoire. Ainsi, considérons une surface sustentatrice AABB (*fig.* 3) ; quand elle est frappée *de front*, c'est-à-dire normalement aux côtés AA, BB, la pression est sensiblement de la forme $\mathfrak{X} = KSV^2 \sin i$, et son point d'application se trouve dans le plan de symétrie de la surface. On peut à la rigueur admettre, comme le fait M. Ferber, que la pression est encore $KSV^2 \sin i$, mais non que son point d'application reste dans le plan de symétrie, lorsque la surface est frappée *de biais* par un courant faisant l'angle i avec la voilure, si elle est plane, et avec la surface plane équivalente si elle est incurvée; l'inexactitude me semble d'ailleurs plus grande pour les voilures courbes, qui sont les seules pratiques, surtout si une carène coupe la voilure suivant sa ligne médiane, comme il arrive pour les oiseaux et pour nombre d'aéroplanes.

Or, il y aurait surtout intérêt à envisager le problème dans sa généralité pour l'étude, si importante, de la *stabilité latérale*. La position du point d'application des pressions peut jouer, dans ce cas, un rôle qui n'est pas négligeable (1). Et alors de deux choses l'une : ou bien ce rôle est faible en pratique, et l'étude du cas général perd beaucoup de son importance ; ou bien il est réellement majeur, et, si la théorie est impuissante à en tenir compte, en l'absence de données expérimentales, si elle doit admettre que le centre de pression reste dans le plan de symétrie, mieux vaut s'en tenir au cas où la trajectoire est dans ce plan, quitte à chercher à se rendre compte ultérieurement de l'influence des courants de biais, sans recourir au calcul, puisque, aussi bien, il ne saurait aujourd'hui élucider ce cas.

En d'autres termes, l'étude difficile du cas général ne fournit pas d'autres indications de quelque certitude que celles données en sériant les questions, et en procédant du simple au composé.

1° Dans cet ordre d'idées, le premier problème qui s'imposera à notre examen concerne donc *le cas où la trajectoire du centre de*

(1) C'est ainsi que nous verrons, dans la théorie de la stabilité longitudinale, l'importance du déplacement du centre de pression, bien qu'en réalité il soit assez faible. En raison de ce déplacement et de ce que le couple redresseur n'est pas proportionnel à P, mais à $KSV^2 i$, l'équation du tangage contient un terme tout différent de celui qu'on obtient pour les ballons dirigeables, où le centre de poussée peut être considéré comme fixe et le couple proportionnel à P. Ces faits contribuent à changer, du tout au tout, les conditions de stabilité pour les deux genres de navires aériens.



gravité se développe dans le plan de symétrie, celui-ci restant vertical. J'étudierai quelles sont alors les *conditions d'équilibre*; cette partie recevra le plus grand développement, parce que, avec nos connaissances actuelles, c'est elle qui permet de trouver le plus de renseignements positifs sur l'établissement des aéroplanes;

2° J'aborderai ensuite l'examen de la *stabilité;*

3° Je terminerai par la théorie du *virage.*

Equations d'Équilibre, le Plan de Symétrie étant vertical.

Les forces en jeu sont les suivantes *(fig. 10 a)* :

P, poids total de l'aéroplane;

Θ_β, effort de traction, dirigé suivant l'arbre de l'hélice (ou suivant la droite équidistante des deux arbres, s'il y a deux hélices); l'indice β indique l'angle que fait la trajectoire correspondante avec l'horizon;

$\mathfrak{L}$, pression de l'air sur les surfaces sustentatrices;

$\mathfrak{R}$, pression de l'air sur les surfaces non sustentatrices.

Par surfaces sustentatrices, j'entends celles dont la fonction est de soutenir l'aéroplane, comme fait le ballon proprement dit dans le dirigeable. Par surfaces non sustentatrices, j'entends les surfaces résistantes, telles que carène, haubans, etc., et les surfaces, comme la queue d'empennage, qui, tout en étant susceptibles de donner accidentellement une composante sustentatrice, n'ont pas pour fonction directe d'assurer la sustentation.

Toutes ces forces sont dans le plan de symétrie de l'aéroplane. Imaginons dans ce plan deux axes de coordonnées rectangulaires fixes, par exemple l'horizontale OX et la verticale OZ, et deux axes de coordonnées GX_1, GZ_1 parallèles aux premiers, passant par le centre de gravité et se déplaçant avec lui. Soient $\Sigma\mathfrak{F}_{X_1}$ et $\Sigma\mathfrak{F}_{Z_1}$ la somme des projections sur GX_1 et GZ_1 de toutes les forces en jeu; M, le moment de ces forces par rapport à G; I, le moment d'inertie de l'aéroplane par rapport à l'axe GY_1 perpendiculaire au plan de symétrie; *q* la rotation instantanée autour de cet axe. Les équations générales du

mouvement de l'aéroplane dans le plan de symétrie sont :

$$\frac{P}{g}\frac{d^2X}{dt^2} = \Sigma\mathfrak{F}_{X_1},$$

$$\frac{P}{g}\frac{d^2Z}{dt^2} = \Sigma\mathfrak{F}_{Z_1},$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{M}{I}.$$

Elles permettent de déterminer : 1° les relations auxquelles doivent satisfaire les forces, tant en grandeur qu'en position, pour qu'il y ait équilibre; 2° les conditions de stabilité longitudinale.

Les trois équations d'équilibre sont :

$$\Sigma\mathfrak{F}_{X_1} = 0,$$

$$\Sigma\mathfrak{F}_{Z_1} = 0,$$

$$M = 0.$$

Dans les théories élémentaires, la plupart des auteurs, notamment le colonel Renard, ont négligé la troisième. Tout à fait essentielle dans le problème de la stabilité longitudinale, elle est encore fort importante dans celui de l'équilibre, car c'est grâce à elle qu'on peut déterminer la direction de la trajectoire, de laquelle dépendent les valeurs des réactions sur les surfaces. En effet, relativement à la trajectoire, les deux premières équations donnent :

$$\frac{d^2X}{dt^2} = 0, \qquad \frac{d^2Z}{dt^2} = 0,$$

d'où :

$$X = \lambda t + \mu,$$

$$Z = \lambda' t + \mu'.$$

Elles indiquent donc seulement que la translation de G est rectiligne et uniforme. C'est l'équation $M = 0$ qui donne l'inclinaison de la trajectoire, suivant les caractéristiques de construction de l'aéroplane.

La rotation étant nulle et la trajectoire de direction bien définie, il est commode, dans le cas de l'équilibre, de substituer

aux axes GX_1, GZ_1 des axes rectangulaires Gx, Gz dont le premier est la trajectoire même du centre de gravité. Le système

$$\Sigma\mathfrak{F}_x = 0,$$

$$\Sigma\mathfrak{F}_z = 0,$$

$$M = 0,$$

est équivalent au système en X_1Z_1, et donne les trois équations d'équilibre que j'emploierai désormais *pour l'équilibre.*

Avant d'expliciter ces trois équations par rapport aux forces en jeu, il convient que nous nous renseignions plus complètement sur les forces $\mathfrak{L}$ et $\mathfrak{R}$.

Voilure sustentatrice plane équivalente.

$\mathfrak{L}$ est la résultante des pressions sur les diverses surfaces sustentatrices. Ces pressions peuvent se décomposer en forces F_n normales à la trajectoire, et en forces H_n parallèles à la trajectoire, comptées positivement dans le sens — V. Dans l'étude de la voilure, j'ai déterminé plus haut la forme de ces composantes F_n et H_n. On peut donc considérer $\mathfrak{L}$ comme la résultante de deux forces $F = \Sigma F_n$, $H = \Sigma H_n$.

Exprimons ΣF_n, et ΣH_n en fonction de la vitesse d'équilibre V.

$$\Sigma F_n = V^2 \Sigma K_n S_n \alpha_n ;$$

$$\Sigma H_n = V^2 \Sigma K_n S_n \, (r_n \alpha + s_n),$$

les s_n pouvant être négatifs.

Posons :
$$\Sigma K_n S_n = KS ;$$

$$\Sigma K_n S_n \alpha_n = KS\alpha ;$$

$$\Sigma K_n S_n r_n \alpha_n^2 = KSr\alpha^2 ;$$

$$\Sigma K_n S_n s_n = KSs.$$

La première équation détermine KS, la deuxième α, la troisième r et la quatrième s.

L'introduction analytique de ces diverses valeurs revient :

1° à remplacer toutes les pressions par une seule, ayant pour composantes :

$$F = \Sigma F_n = KSV^2\alpha$$

$$H = \Sigma H_n = KSV^2(r\alpha^2 + s).$$

2° à définir l'inclinaison de l'aéroplane sur sa trajectoire par l'angle :

$$\alpha = \frac{\Sigma K_n S_n \alpha_n}{KS},$$

qui est la moyenne des inclinaisons des surfaces planes équivalentes des diverses voilures sustentatrices, affectées de poids proportionnels à leurs surfaces efficaces.

Encore faut-il que l'inclinaison moyenne ainsi déterminée ait une liaison rigide avec l'aéroplane : or, c'est ce qui a lieu dans les limites d'inclinaisons considérées. En effet, faisons tourner l'aéroplane d'un angle γ : d'après la précédente théorie des surfaces faiblement incurvées, chaque angle α_n devient $\alpha_n + \gamma$. Soit α' la valeur que prend alors l'angle α :

$$KS\alpha' = \Sigma K_n S_n(\alpha + \gamma) = \Sigma K_n S_n \alpha_n + \gamma \Sigma K_n S_n,$$

d'où, en tenant compte des deux premières relations posées :

$$KS\alpha' = KS\alpha + KS\gamma;$$

$$\alpha' = \alpha + \gamma,$$

ce qui établit la rigidité de la liaison.

Il importe de remarquer que le coefficient r, qui entre dans la résistance à l'avancement H, est fonction des α_n et, par suite, de α. Mais il est constant dans les aéroplanes à voilure formée de surfaces parallèles (c'est-à-dire donnant lieu à des surfaces planes équivalentes parallèles). On a alors :

$$r = \frac{\Sigma K_n S_n r_n}{KS}.$$

Si même tous les r_n sont égaux à 1, comme je l'ai trouvé pour la surface de Lilienthal, on a $r = 1$, puisque $KS = \Sigma K_n S_n$.

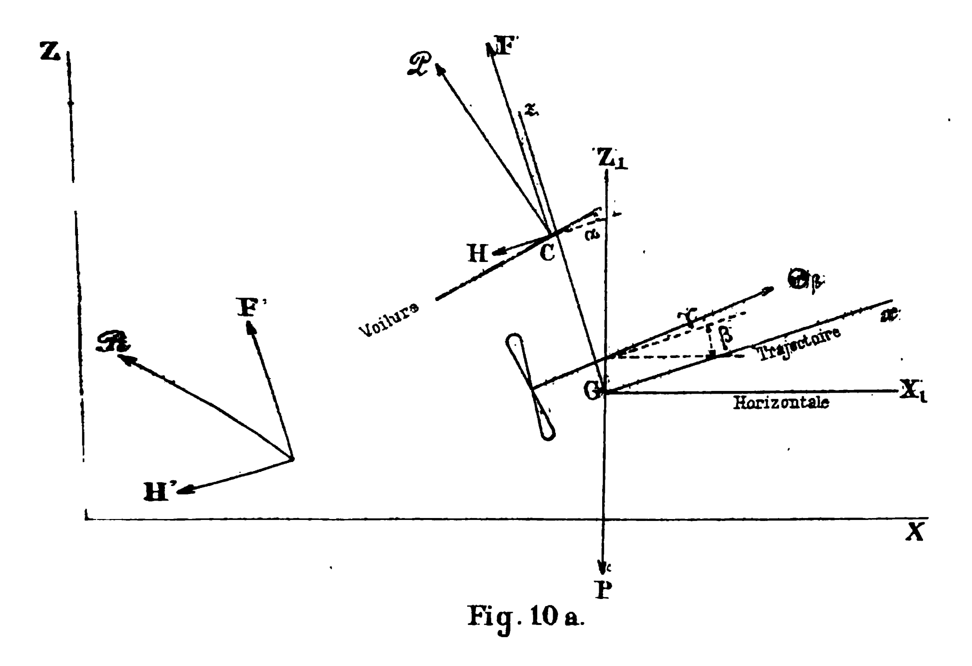


Fig. 10 a.

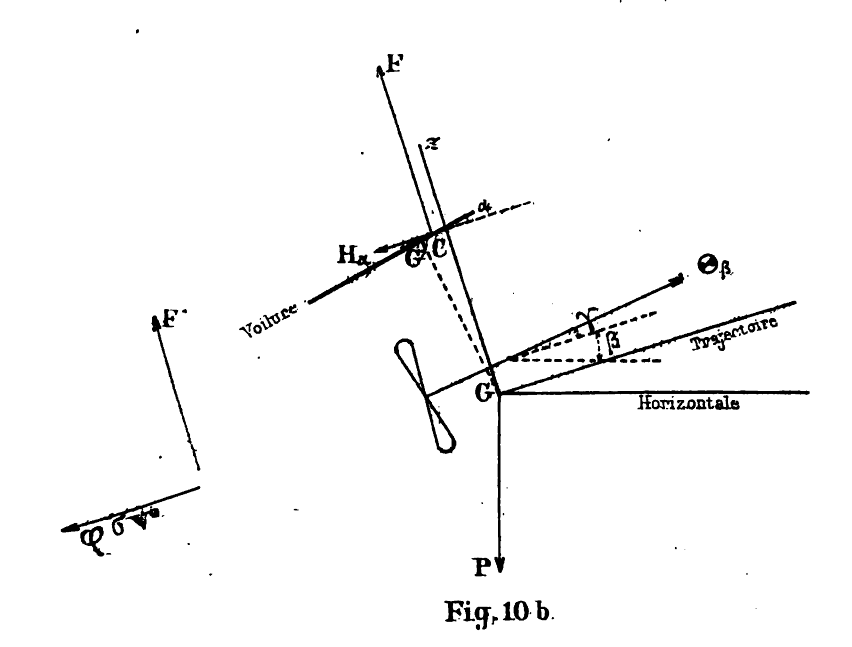


Fig. 10 b.

Au gouvernail de profondeur près, il en est ainsi des aéroplanes monoplans, biplans, ou biplans en tandem. L'altération dans la constance de r introduite par le gouvernail de profondeur est d'ailleurs minime, en raison du faible rapport entre sa surface efficace et la surface efficace totale; ce rapport n'atteint généralement pas $\frac{1}{6}$.

La position origine correspond à $\alpha = 0$, d'où $F = 0$. En tenant compte de la rigidité, on peut donc définir ainsi l'*inclinaison d'un aéroplane :* c'est l'angle de rotation qui l'amènerait à sa position réelle en partant de la position fictive pour laquelle la propulsion ne produit aucun effet sustentateur.

RÉSISTANCES PASSIVES : RÉSISTANCE A L'AVANCEMENT ET RÉSISTANCE DE DÉVERSEMENT.

De même que nous avons décomposé $\mathfrak{L}$, décomposons $\mathfrak{R}$ en deux forces F' et H' parallèles à F et à H. De ces quatre forces F, H, F', H', les seules qui soient fonction de α sont :

$$F = KSV^2\alpha,$$

$$H = KSV^2(r\alpha^2 + s).$$

J'appelle *réactions actives* les deux expressions $F = KSV^2\alpha$, $H_\alpha = rKSV^2\alpha^2$ dépendant de l'élément actif α, qui permet de transformer la vitesse en sustentation. J'appelle *résistances passives* toutes les autres réactions, soit $sKSV^2$, F' et H'. En d'autres termes, si l'on imagine que l'inertie de l'aéroplane continue, pour un moment, à lui faire suivre sa trajectoire rectiligne à la vitesse V quand on donne à la voilure l'inclinaison $\alpha = 0$, les résistances passives sont celles qui s'exerceraient alors.

La résistance à l'avancement résulte de la composition des forces H' et $sKSV^2$. Avec des voilures planes, cette dernière est une résistance effective, mais, avec des voilures incurvées de profils convenables, elle peut être une *contre-résistance*, comme nous l'avons vu. Composons les réactions comme il est indiqué sur la figure 10 *b*, savoir : F et H_α, proportionnelles à α et à α^2, et ayant leur point d'application au centre de pression C de la voilure ; $H' + sKSV^2$ et F', qui sont indépendantes de α, mais

dépendent de l'inclinaison du *corps* de l'aéroplane sur la trajectoire, ainsi que je vais le rappeler.

Dans un aéroplane bien construit, il doit exister une *droite directrice* avec laquelle coïncide la résultante des résistances passives, lorsque la trajectoire lui est parallèle. C'est ce qui a lieu pour les ballons dirigeables, dans lesquels la directrice est normale au maître-bau. Il est avantageux que cette directrice coïncide avec l'arbre de l'hélice, et je supposerai qu'il en soit ainsi. Alors, quand la trajectoire lui est parallèle, $F' = 0$, et la résistance à l'avancement est directement opposée à Θ_β.

Mais, dès que la trajectoire s'incline sur Θ_β, la résistance $\mathfrak{R}$ varie notablement, en grandeur et en direction. Il se passe le même phénomène qu'avec les dirigeables, lorsque la trajectoire n'est plus normale au maître-bau ; en particulier, le ballon proprement dit donne une résistance qui provoquerait un déversement important si l'on n'y avait porté remède avec l'empennage. En effet, cette résistance est élevée, et son point d'application est situé vers l'extrême proue du dirigeable, quand l'inclinaison i varie de 0 à 30 degrés. Dans ces limites, le colonel Renard a trouvé que le couple est de la forme nV^2i. M. le lieutenant Crocco a conclu expérimentalement à la forme mV^2i de la force de déversement, ce qui conduit à donner au levier une valeur sensiblement constante, dans les limites d'inclinaison indiquées.

Pour les aéroplanes, il est encore plus indispensable de limiter le déversement, car les passagers n'ont plus la ressource, si l'inclinaison devient dangereuse, de trouver dans l'appareil la précieuse bouée de sauvetage que leur assure le ballon. Cela peut s'obtenir par divers moyens, automatiques ou non, qui font apparaître un moment antagoniste.

1° Un des meilleurs réside dans l'empennage, qui agit automatiquement. Supposons, pour fixer les idées, que la directrice soit l'arbre de l'hélice. La force F' apparaît dès que cet arbre fait un angle γ avec la trajectoire, comme cela se passe avec les dirigeables. Elle est encore de la forme $mV^2\gamma$, qu'on peut écrire $K_1S_1V^2\gamma$, pour des valeurs de γ de 0 à 30 degrés. J'appelle *surface d'empennage horizontal* la surface efficace *fictive* K_1S_1, qui existe pour tout aéroplane, alors même qu'il n'a pas de *queue d'empennage* proprement dite. La force F' donne un moment $F'L_1$ qui dépend essentiellement des formes et de l'emplacement des diverses parties de l'aéroplane, abstraction faite de la voilure. Le cons-

tructeur doit s'efforcer sérieusement à déterminer ces formes et à placer les divers organes de façon que γ ne puisse varier que dans de très faibles limites autour de la valeur zéro, entre + 2 et — 2 degrés au plus, non seulement en vue de l'équilibre, dont nous nous occupons actuellement, mais encore en vue de la stabilité longitudinale automatique.

A cet effet, il pourra être nécessaire d'adjoindre une queue horizontale à la surface fictive donnée par l'empennage naturel de l'aéroplane. Sa surface s'ajoutera à K_1S_1, d'où une surface $K'S'$ d'empennage total, avec un bras de levier L'. Dans le moment $K'S'V^2\gamma L'$, la queue a généralement l'action prépondérante. Comme elle sera située assez à l'arrière, on peut prendre L' constant, comme pour les dirigeables, ce qu'on ne saurait faire pour le bras de levier de la pression sur la voilure, dont les variations sont, au contraire, relativement importantes.

Quant à la résistance à l'avancement, elle est de la forme $H' = R + Q \sin^2\gamma$, valeur sensiblement constante si $\gamma < 20°$.

2° Au lieu de cette queue, d'inclinaison $\gamma = 0$, on peut concevoir des surfaces inclinées placées dans des conditions spéciales. Par exemple, l'arrière d'une voilure pourrait avoir une frange relevée de faible hauteur donnant, pour l'inclinaison de régime, une résistance à l'avancement insignifiante, à cause de la moindre pression de l'air au desssus de la voilure, phénomène encore accusé par une concavité avant bien étudiée. Dès que l'inclinaison avant tendrait à diminuer, cette frange serait frappée par des filets vierges qui feraient apparaître un moment s'opposant à la diminution de l'inclinaison.

Avec l'empennage, on peut imaginer une queue, de surface efficace $K'S'$, prolongeant l'arbre de l'hélice, précédée d'un disque perpendiculaire donnant une résistance $\varphi\sigma V^2 = H' + sKSV^2$. Cet ensemble constituera le *système fictif des résistances passives.*

Le *disque fictif de la résistance à l'avancement,* imaginé par le colonel Renard, ne suffit donc que pour γ nul. Il est essentiel, pour comprendre les phénomènes de déversement, de le remplacer par notre système.

Dans l'expression $\varphi\sigma V^2$, le terme $sKSV^2$ est assez petit, voire même négatif. *Une incurvation convenable des diverses surfaces composant la voilure diminue donc la résistance à l'avancement.* Les frères Wright semblent s'être tout particulièrement appliqués à s'assurer le bénéfice de cette importante propriété.

LES TROIS ÉQUATIONS D'ÉQUILIBRE.

Ainsi, pour que l'aéroplane soit établi dans de bonnes conditions, il convient que son inclinaison varie dans des limites aussi étroites que possible autour de la valeur zéro. Cherchons d'abord les relations de position que cette condition exige entre ses diverses parties constitutives avec une queue d'empennage.

L'angle $\beta + \gamma$ de l'arbre de l'hélice avec l'horizon diffère alors très peu de la pente β de la trajectoire; quand il y a équilibre, β doit être faible pour des aéroplanes portant des passagers. Nous prendrons donc $\sin\beta = \beta$, $\cos\beta = 1$, comme pour l'angle α, et nous resterons dans les limites d'approximation que comportent nos connaissances actuelles sur l'évaluation des pressions. Cela étant, voyons ce que deviennent les trois équations d'équilibre.

Les deux premières sont :

$$P = KSV^2\alpha + K'S'V^2\gamma,$$

$$\Theta_\beta = \varphi\sigma V^2 + rKSV^2\alpha^2 + P\beta.$$

Quant à la troisième, que donnent les moments des forces en jeu par rapport au centre de gravité, remarquons que la force $\Theta_\beta - \varphi\sigma V^2$, sensiblement égale à $P(r\alpha + \beta)$, est faible par rapport à P. Si donc l'arbre de l'hélice passe à une faible distance du centre de gravité, — *condition indispensable* pour que l'équilibre ne soit pas rompu en cas de panne du moteur, — nous pouvons négliger son moment devant ceux des autres forces. En désignant par x et z les coordonnées du centre de pression, l'équation prend la forme simple :

$$KSV^2\alpha x + rKSV^2\alpha^2 y = K'S'V^2\gamma L'.$$

Calculons x et y. La position du centre de pression C sur la voilure sustentatrice peut se compter à partir d'un point quelconque de sa ligne médiane. Nous choisissons le point G', projection du centre de gravité sur la voilure plane équivalente. Posons :

$$GG' = h,$$

$$G'C = l - m\alpha.$$

G'C étant pris positivement dans le sens V, m est positif.

Projetons le contour fermé GG'CG sur chacun des axes de coordonnées. L'angle de GG' et de Gz, perpendiculaires à la voilure et à la trajectoire, est α. Donc :

$$x = -h\alpha + l - m\alpha,$$

$$z = h + (l - m\alpha)\alpha.$$

La troisième équation d'équilibre est, en négligeant $rl\alpha^2$ devant l, $rm\alpha^3$ devant $m\alpha$:

$$KS\alpha[l - m\alpha - (1 - r)h\alpha] = K'S'\gamma L'.$$

Soit α_0 un nombre, dont je préciserai plus loin la signification, et tel que :

$$l - m\alpha_0 - (1 - r)h\alpha_0 = 0.$$

La troisième équation d'équilibre peut alors s'écrire :

$$KSl\alpha\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right) = K'S'\gamma L'.$$

Dès lors, le système des trois équations d'équilibre est :

$$P = \left[1 + \frac{l}{L'}\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right)\right]KSV^2\alpha,$$

$$\Theta_\beta = \varphi\sigma V^2 + rKSV^2\alpha^2 + P\beta,$$

$$\gamma = \frac{KSl}{K'S'L'}\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right)\alpha.$$

Gouvernail de profondeur. Vitesses d'Équilibre et Vitesse de Régime.

Si la voilure sustentatrice, que, par abréviation, j'appellerai simplement voilure, était fixe par rapport à l'aéroplane, la troisième équation ne serait vérifiée que par un nombre limité de valeurs de α. En effet, soient $\alpha'\beta'\gamma'$, $\alpha''\beta''\gamma''$ deux groupes de valeurs caractérisant deux positions de l'aéroplane par rapport à l'élément de trajectoire parcouru à un certain moment. Les angles de la directrice avec l'horizon sont $\beta' + \gamma'$ et $\beta'' + \gamma''$, et

l'aéroplane, donc la voilure, auraient tourné de $\beta'' + \gamma'' - \beta' - \gamma'$ pour passer de la première position à la deuxième. L'élément de trajectoire a lui-même tourné de $\beta'' - \beta'$; donc le nouvel angle de la voilure avec la trajectoire serait $\alpha'' = \alpha' + \gamma'' - \gamma'$, ce qui montre que $\alpha - \gamma$ aurait une valeur constante. En substituant, la troisième équation d'équilibre ne dépendrait que de α, qui admettrait au plus deux valeurs. Les deux autres équations d'équilibre donneraient les valeurs correspondantes de V et de β, et il n'y aurait qu'un nombre limité de trajectoires, une généralement, suivant lesquelles on pût réaliser l'équilibre.

Or, il est de la plus haute importance que l'aéroplane puisse monter ou descendre en équilibre suivant une trajectoire quelconque, de pente comprise dans les valeurs admissibles. Il est donc indispensable que la voilure ne soit pas fixe, ou, plus exactement, que α et γ soient indépendants. Cela peut se réaliser de diverses manières :

1° En rendant la voilure mobile, l'empennage étant généralement fixe;

2° En composant la voilure d'une partie principale fixe et d'une partie mobile, l'empennage étant lui-même fixé à la partie principale. La partie mobile a reçu le nom de *gouvernail de profondeur* ou d'*équilibreur*.

C'est aux frères Wright qu'est dû le gouvernail de profondeur; ils l'ont imaginé presque au début de leurs expériences d'Amérique. Aujourd'hui, la plupart des aviateurs ont recours à ce moyen élégant de faire varier l'angle d'attaque, tout en conservant le bénéfice d'une voilure principale fixe, et, par conséquent, plus facile à monter sur le bâti de l'aéroplane. Si, dans l'aéroplane des frères Wright, la voilure principale n'est pas rigoureusement fixe, toute sa partie antérieure, qui importe surtout pour la sustentation, est rigide, et le gauchissement des deux angles postérieurs a moins pour but d'assurer l'équilibre que la stabilité transversale, ce en quoi ce type se différencie du type Voisin. Une autre différence est dans l'absence presque complète d'empennage. Nous verrons plus loin les avantages et les inconvénients de ces deux types, aujourd'hui populaires;

3° En réunissant la queue d'empennage et le gouvernail de profondeur dans un même organe mobile. Cette solution est séduisante et se rencontre dans l'aéroplane de M. Esnault-Pelterie. Toutefois, au point où nous en sommes, il est peut-être plus prudent d'avoir un organe distinct pour chaque fonction.

L'oiseau semble appartenir à la dernière catégorie, car sa queue ne forme pas un empennage fixe. On peut s'en convaincre en tenant un pigeon en mains, de façon que l'axe de son corps soit sensiblement horizontal; si on l'incline brusquement, il relève ou abaisse instinctivement la queue, comme il a l'habitude de le faire en volant.

La différence caractéristique entre la queue d'empennage horizontal et le gouvernail de profondeur consiste en ce que la première est fixe, et toujours placée franchement à l'arrière, tandis que le second est essentiellement mobile autour d'un axe horizontal; il peut être placé à l'avant ou à l'arrière.

Quoi qu'il en soit, α et γ ne sont plus liés que par la troisième équation. Si l'on prend pour γ, considéré comme paramètre arbitraire, des valeurs $\gamma', \gamma'', \gamma'''$..., la troisième équation d'équilibre donne $\alpha', \alpha'', \alpha'''$..., la première V', V'', V'''..., et la deuxième $\beta', \beta'', \beta'''$... Il y a donc *une infinité de systèmes* V, α, β *réalisant l'équilibre*, compris d'ailleurs entre des intervalles limités.

Parmi *les vitesses d'équilibre*, je distinguerai la vitesse V_0 qui correspond à $\gamma = 0$, et l'appellerai *vitesse de régime*. On a alors $\alpha = \alpha_0$, valeur considérée plus haut, et qui n'avait pas de signification tant que je n'avais pas démontré que V_0 peut être une vitesse d'équilibre. On a donc dans ce cas :

$$l - m\alpha_0 = (1 - r)h\alpha_0.$$

Or $l - m\alpha_0$ est la distance G'C du centre de pression à la projection du centre de gravité sur la voilure plane équivalente. Si l'on donne à r sa valeur probable $r = 1$, cette distance est nulle. Pour $r = 0,9$, G'C est inférieur au centième de h, et, par suite, de 1 à 2 cm au plus. De là, cette proposition :

A la vitesse de régime, le centre de pression doit coïncider avec la projection du centre de gravité sur la voilure plane équivalente, pour qu'il y ait équilibre.

On sait que, pour les inclinaisons qui conviennent à l'aéroplane, le centre de pression sur une surface se place environ aux trois dixièmes de sa largeur (Avanzini, Joessel, Soreau). De là cette règle pratique de construction :

Placer la voilure principale de façon que le centre de gravité se projette sur la corde de la section un peu en avant du point situé au tiers de cette corde, compté du bord d'attaque.

En général, la manœuvre du gouvernail de profondeur suffira à la mise au point exacte pour l'équilibre. Si, toutefois, il fallait donner au gouvernail des inclinaisons trop grandes, c'est qu'il conviendrait de déplacer légèrement la position du centre de gravité.

Telle est l'analyse du rôle que joue le gouvernail de profondeur, organe essentiel, si l'on veut donner au reste de l'aéroplane des formes rigides ou semi-rigides, suivant une pratique de construction que j'estime excellente. La manœuvre de cet appareil se fait par un levier ou par un volant semblable à celui des automobiles, et que l'aviateur tient constamment en mains. L'expérience a prouvé qu'avec un aéroplane bien construit le pilote acquiert assez vite l'habileté de donner intuitivement les déplacements convenables pour réaliser l'équilibre.

Pour les voyages à faible hauteur, l'aéroplane est lui-même le meilleur indicateur de la pente suivie, qu'on estime par comparaison au sol. Il n'en serait pas de même à de grandes hauteurs ou par des temps peu clairs, mais nous n'en sommes pas encore à voyager dans ces conditions. Alors un indicateur de pente sera utile; il conviendra de lui donner une sensibilité suffisante, à des allures atteignant ou dépassant 60 km à l'heure.

Empennage horizontal.

En posant $\frac{\alpha}{\alpha_0} = a$, la troisième équation d'équilibre peut s'écrire :

$$\frac{\gamma}{\alpha_0} = a(1 - a)\frac{KSl}{K'S'L'}.$$

Le déversement γ dépend du signe de $(1 - a)$. L'avant de l'aéroplane se relève légèrement pour $a < 1$, et s'abaisse pour $a > 1$. Dans le premier cas, γ passe par un maximum pour $a = \frac{1}{2}$. Au delà de 1, il augmente avec a.

Cette relation va nous fournir une nouvelle indication pratique intéressante. Elle montre que γ, dont la valeur croît proportionnellement à KS, est d'autant plus petit que L' est plus grand : résultat qui peut paraître paradoxal, car il semble, au premier abord, que le déversement doit augmenter avec le bras

de levier de F'. Mais il ne faut pas oublier que cette force naît de l'angle γ, et croît avec lui; ce n'est pas elle qui est fixe pour une valeur de γ, mais son moment, et γ peut, comme il arrive en réalité, varier en sens inverse de L'.

Ainsi se trouve mis en évidence l'intérêt qu'il y a à allonger les aéroplanes dans le sens longitudinal ou à les munir d'une queue d'empennage de façon que la force F', quand elle apparaît, soit assez éloignée du centre de gravité pour ne provoquer qu'un faible déversement γ. C'est une question de développement et d'emplacement de surfaces, que je caractériserai ainsi : sauf dispositions spéciales, l'aéroplane doit avoir de l'*empattement longitudinal superficiel*. Quand nous étudierons la stabilité longitudinale, nous verrons qu'il doit aussi avoir de l'*empattement massique*, c'est-à-dire un suffisant moment d'inertie I par rapport à l'axe perpendiculaire en G au plan de symétrie.

Il n'y a pas besoin de bien grandes surfaces d'empennage horizontal ni de bien longs bras de levier pour limiter le déversement. En effet, le champ des variations de a ne va guère au delà de 2. La plus grande valeur de γ est alors $2\frac{KSl}{K'S'L'}\alpha_0$; γ ne dépassera donc pas α_0, c'est-à-dire quelques degrés, si l'on prend :

$$2\frac{KSl}{K'S'L'} < 1.$$

En remplaçant l par sa valeur $m\alpha_0 = 0{,}3\ L\alpha_0$, où L est la largeur de la voilure principale, et en prenant $\alpha_0 = 10$ degrés, valeur plutôt trop forte, on a :

$$K'S'L' > \frac{KSL}{10}.$$

Si $L' = 2L$, il suffit que K'S' soit le vingtième de KS pour que le déversement soit du même ordre de grandeur que α_0. Avec un coefficient d'efficacité de la surface d'empennage égal à la moitié de celui de la voilure, il suffira, dans ce cas, de prendre $S' > \frac{S}{10}$. (Pour les plans de queue des dirigeables, le colonel Renard donne le coefficient $K' = 0{,}176$). Il convient de remarquer ici que K' ne jouit pas, comme K, du bénéfice de la concavité, car la queue d'empennage, qui doit pouvoir agir par ses

deux faces, sera presque toujours plane. Toutefois, dans les aéroplanes de MM. Voisin, la forme concave des voilures arrière montre que ces constructeurs font concourir le biplan postérieur à la fois à l'empennage et à la sustentation.

Il est à remarquer que la nature n'a généralement pas donné d'empennage aux insectes, dont les trajectoires sont des plus fantaisistes. Les oiseaux moyens ont de l'empennage, mais sans exagération, la queue étant peu étendue et placée assez près du corps ; d'ailleurs les oiseaux à longue queue ne sont pas les volateurs les plus adroits, ce qui concorde avec le calcul précédent, où j'ai montré qu'un grand empennage est inutile : il donne un trainage qui augmente les frottements sans aucun profit, et enlève de la souplesse au vol; au surplus, il est possible que ces oiseaux relèvent, s'il en est besoin, l'extrémité de leurs rémiges, ce que leur système musculaire semble leur permettre. Les oiseaux de grande taille n'ont pas cette ressource, et, si l'arrière de leurs ailes se relève, c'est automatiquement, par l'effet de la pression sur l'aile, et non d'un effort musculaire qu'ils ne sauraient produire, puisqu'ils peuvent à peine donner des battements d'ailes : ce relèvement est donc sans effet appréciable. Par contre, ils ont un empennage assez fort ; aussi leurs trajectoires d'équilibre sont-elles à faible pente et d'une grande fixité, qui ne laisse pas de rendre impressionnant le vol des aigles et des vautours. Ces différences d'empennage expliquent les curieux procédés de chasse des volateurs. Ainsi, l'hirondelle, à qui un certain empennage est nécessaire pour les grandes migrations, serait par contre gênée par la fixité de la trajectoire dans sa chasse incessante aux insectes ; elle s'y soustrait par la fantaisie de ses battements d'ailes, qui tantôt s'arrêtent brusquement, pour lui permettre de piquer dans une direction nouvelle, tantôt sont extrêmement rapides, et parfois différents pour chaque aile : j'ai pu même observer deux ou trois battements d'une aile en sorte de moulinets, alors que l'autre était presque immobile; pour se reposer de pareilles manœuvres, l'hirondelle coupe très fréquemment son vol ramé par des glissades de vol plané. Au contraire, les grands rapaces, dont le majestueux appareil alaire ne se prête pas à de tels jeux, utilisent dans leurs chasses leur masse importante, en fondant sur leur proie ; s'ils la manquent, ils transforment brusquement la puissance vive considérable ainsi développée en un mouvement ascensionnel rapide, pour lier leur victime par dessous.

Conditions d'équilibre favorables a l'établissement des Aéroplanes-navires.

En résumé, je considère les conditions suivantes comme favorables à l'établissement des *aéroplanes-navires*, c'est-à-dire destinés à transporter des passagers :

Directrice coïncidant avec l'arbre de l'hélice, la résistance étant opposée à la traction quand la trajectoire est parallèle à l'arbre, ce qu'il convient de réaliser pour le vol horizontal;

Centre de gravité à faible distance de l'arbre en vue du planement;

Centre de pression coïncidant avec la projection du centre de gravité sur la voilure plane équivalente, en marche parallèle à la directrice;

Dispersion suffisante, au lieu de concentration des masses;

Empennage horizontal, allongé transversalement, prolongeant l'arbre de l'hélice, et sans aucune exagération; à son défaut, surfaces produisant un moment qui limite les variations de l'inclinaison.

Gouvernail de profondeur indépendant, ou queue d'empennage mobile en faisant office ;

Voilure rigide, ou tout au moins à bord d'attaque rigide.

Je compléterai plus loin ces conditions par celles qui sont relatives à la stabilité et à la propulsion.

Mécanisme de la marche en Équilibre.

La troisième équation d'équilibre se réduit à une relation entre α et γ, qui donne pour γ des valeurs de l'ordre de α si l'empattement longitudinal est suffisant. Dès lors, dans la première équation :

$$P = \left[1 + \frac{l}{L'}(1 - a)\right] KSV^2\alpha,$$

le terme $\frac{l}{L'}(1 - a)$, nul si $a = 1$, est négligeable devant 1, car, pour la valeur $a = 2$, qu'on ne dépasse pas dans la pratique, sa valeur absolue est $0{,}3\frac{L}{L'}\alpha_0$; or $\frac{L}{L'}$, rapport entre la largeur de la

voilure et le bras de levier de l'empennage, est toujours sensiblement inférieur à 1, et α_0 est au plus égal à 0,1.

Dans ces conditions, lés relations entre V, α et β se réduisent à :

$$P = KSV^2\alpha,$$

$$\Theta_\beta = \varphi\sigma V^2 + rKSV^2\alpha^2 + P\beta.$$

Cette dernière peut s'écrire, en convenant de supprimer l'indice quand la trajectoire est horizontale :

$$\frac{\Theta_\beta}{P} = \frac{\Theta}{P} + \beta,$$

avec

$$\frac{\Theta}{P} = \frac{\varphi\sigma}{KS}\frac{1}{\alpha} + r\alpha.$$

Ainsi se trouvent généralisées les formules établies par le colonel Renard dans le cas particulier d'un aéroplane à voilure plane unique (1). Les nôtres n'en diffèrent que par l'introduction de r et par la signification des lettres qui y entrent. En fait, la différence est grande. Ainsi, l'incurvation de la voilure diminue $\varphi\sigma$ en même temps qu'elle augmente KS, d'où une notable diminution de l'effort de traction. Pour les aéroplanes presque tout en voilure, comme les grands oiseaux voiliers, cet effort de traction est donc minime : on s'explique dès lors l'extraordinaire facilité de leur vol. De même, on conçoit que des aéroplanes mécaniques, constitués d'une façon analogue et capables de serrer le vent, puissent atteindre des vitesses considérables, dépassant 200 km à l'heure, si on les dote d'un moteur suffisant.

Les formules ci-dessus indiquent clairement quel est le mécanisme de la marche d'un aéroplane en équilibre :

1° L'angle d'attaque étant déterminé par la manœuvre du gouvernail de profondeur, la vitesse en résulte. Par suite, dans les aéroplanes à voilure de surface invariable, le seul moyen de changer la vitesse est de modifier l'angle α puisque $V^2\alpha$ est constant. Tant que cet angle reste le même, la vitesse d'équilibre ne change pas, *quelle que soit la trajectoire parcourue.*

(1) *Revue de l'Aéronautique*, 1889.

Au contraire, les battements d'ailes diminuent la surface efficace KS, de sorte que les oiseaux rameurs ont une plus grande vitesse en plein vol que dans les glissades parcourues d'un mouvement uniforme ;

2° La pente de la trajectoire est égale à l'excès de l'effort de traction que développe le moteur, par kilogramme de l'aéroplane, sur l'effort de traction qu'il aurait à développer pour la marche en palier à la même vitesse. La trajectoire est donc ascendante, horizontale ou descendante suivant que Θ_β est supérieur, égal ou inférieur à Θ. Pour $\Theta_\beta = 0$, c'est-à-dire quand le moteur est au repos, on a :

$$-\beta = \frac{\Theta}{P}.$$

En particulier, un aéroplane abandonné à lui-même, après avoir commencé par tomber suivant une trajectoire curviligne jusqu'à ce qu'il ait atteint une vitesse uniforme, glisse dès lors suivant la trajectoire rectiligne de pente $-\beta$. Pente et vitesse varient suivant l'inclinaison de la voilure sur la trajectoire : la valeur absolue de la pente a la plus petite valeur β_1 pour l'inclinaison α_1 qui rend Θ minimum.

3° Considérons maintenant la puissance que doit fournir le moteur, et soit ρ le rendement propulseur global (transmissions et hélice). Pour la marche en palier, la puissance du moteur est $\frac{1}{\rho}\,\Theta V$; si elle est supérieure, l'aéroplane suit une trajectoire ascendante, qui devient rectiligne dès que, par la manœuvre du gouvernail de profondeur, le pilote a pris instinctivement l'angle α qui satisfait à la relation $P = KSV^2\alpha$. La pente suivie absorbe alors l'excès de puissance $PV\beta$ nécessaire pour élever le poids P de l'aéroplane suivant la pente β à la vitesse V.

Tel est le mécanisme très simple de la marche de l'aéroplane en équilibre.

MINIMUM DE L'EFFORT DE TRACTION; ALLURE.

Pour que Θ_β soit minimum, il faut et il suffit que Θ le soit. Or Θ est la somme de deux termes dont le produit est constant; son minimum a donc lieu pour :

$$\frac{\varphi\sigma}{\mathrm{KS}}\frac{1}{\alpha_1} = r\alpha_1,$$

d'où :

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\varphi\sigma}{r\mathrm{KS}}}.$$

Cette valeur particulière de α est très importante : c'est proprement une caractéristique de l'aéroplane, au même titre que son poids; elle ne dépend que de l'aéroplane et ne change même pas avec l'altitude, puisqu'elle contient le rapport $\frac{\varphi}{\mathrm{K}}$. Au coefficient r près, elle a été indiquée d'abord par Pénaud (1), puis par le colonel Renard (2).

Nous verrons plus loin à la déterminer expérimentalement; on conçoit dès maintenant qu'elle peut être donnée par la glissade de portée maximum, qui correspond à cette inclinaison.

Posons :

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = a,$$

a est donc un nombre qui caractérise l'angle d'attaque, et, par suite, la vitesse d'équilibre de l'aéroplane. Je l'appellerai l'*allure*.

S'il se trouve que α_1 donne un déversement rigoureusement nul, cet angle sera le même que l'angle α_0 considéré ci-dessus dans la théorie de l'empennage horizontal, et la valeur de a dans cette théorie ne sera autre que l'allure.

L'allure 1 est celle du minimum de traction, quelle que soit la pente. En palier, c'est elle qui permet de parcourir un chemin donné en dépensant le minimum de travail, sans avoir

(1) *L'Aéronaute*, janvier 1873.
(2) *Revue de l'Aéronautique*, 1889 et 1890.

égard au temps; en d'autres termes, c'est elle qui donne le plus long parcours, à égalité de consommation de combustible.

Considérons le rapport :

$$\frac{\Sigma H_n + R}{\varphi\sigma V^2} = 1 + \frac{rKS}{\varphi\sigma}\alpha^2.$$

Il est égal à 2 pour l'allure 1. De là ce théorème :

Le minimum de l'effort de traction a lieu quand la résistance du disque équivalent $\varphi\sigma V^2$ *est la moitié de la résistance totale, quelle que soit la pente* (1).

MINIMUM DE PUISSANCE; CONDITION DE POSSIBILITÉ.

Il y a une autre allure non moins intéressante, également envisagée par Pénaud et Renard : c'est celle du minimum de puissance. Or :

$$\frac{\mathfrak{T}_\rho}{P} = \frac{1}{\rho}\left[\frac{\varphi\sigma}{KS}\frac{1}{\alpha} + r\alpha + \beta\right]V$$

$$= \frac{1}{\rho}\left[\frac{\varphi\sigma}{P}V^3 + \frac{rP}{KS}\frac{1}{V} + \beta V\right].$$

Son minimum a lieu pour la valeur de V donnée par l'équation :

$$\frac{rP}{KSV^2} = \frac{3\varphi\sigma V^2}{P} + \beta,$$

soit pour la valeur de α donnée par :

$$r\alpha = r\frac{3\alpha_1^2}{\alpha} + \beta.$$

Ces valeurs de V et de α dépendent de la pente β, à l'encontre de ce qui a lieu pour le minimum de traction.

(1) Ce théorème remplace celui qu'a établi le colonel Renard dans le cas d'une voilure plane, qu'il suppose produire une pression normale à son plan :

Le minimum de l'effort de traction a lieu quand la résistance du sustentateur est égale à la résistance à l'avancement des autres parties de l'esquif.

Cet énoncé n'a plus de sens avec ce que nous savons aujourd'hui des voilures incurvées, attendu que, aux très faibles inclinaisons, la voilure peut offrir une résistance négative.

Le moins qu'on puisse demander à un aéroplane, c'est d'être susceptible de se déplacer en se maintenant à l'altitude à laquelle on l'aura amené par un moyen quelconque. Le cas $\beta = 0$ donne donc la *condition de possibilité* relative à la puissance que doit avoir le moteur, ainsi que l'a remarqué le colonel Renard. Soient α_m, V_m l'inclinaison et la vitesse d'équilibre dans ce cas. On a :

$$\alpha_m = \alpha_1 \sqrt{3} \qquad \text{ou} \qquad a = \sqrt{3}.$$

Ainsi *l'allure* $\sqrt{3}$ *détermine le minimum* $\mathfrak{T}_m$ *de la puissance motrice nécessaire à un aéroplane pour se soutenir horizontalement* (1).

La dérivée en V que nous venons d'obtenir donne :

$$3\varphi\sigma V^2 = \frac{rP^2}{KSV^2} - P\beta,$$

d'où, en remplaçant P^2 par $(KSV^2\alpha_m)^2$:

$$3\varphi\sigma V^2 = rKSV^2\alpha_m^2 - P\beta$$

et

$$4\varphi\sigma V^2 = \Sigma H_n + R - P\beta.$$

De là ce théorème :

Le minimum de la puissance motrice a lieu quand la résistance du disque équivalent est le quart de la différence entre la résistance totale et la résistance due à la pente (2).

Formules pratiques. Tables numériques et Abaque général.

La considération de l'allure m'a conduit à exprimer la vitesse, l'effort de traction et la puissance en palier par des formules très

(1) La considération de familles d'aéroplanes nous conduira plus loin à un aéroplane demandant le minimum de puissance, pour chaque allure : ces minima sont *relatifs* en ce qu'ils n'existent que si l'on compare ces aéroplanes entre eux. Leur minimum minimorum correspond d'ailleurs à l'allure $\sqrt{3}$.

(2) Comme pour le minimum de l'effort de traction, ce théorème remplace le suivant, dû au colonel Renard :

Le minimum de la force de la machine a lieu quand la résistance du sustentateur est égale à la résistance due à la pente, augmentée de trois fois la résistance des autres parties de l'esquif.

pratiques en ce qu'elles se calculent à l'aide de tables numériques ou graphiques établies une fois pour toutes.

En effet, les deux relations :

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = a \qquad \alpha_1^2 = \frac{\varphi\sigma}{r\mathrm{KS}},$$

donnent immédiatement :

$$\mathrm{V} = \frac{1}{\sqrt{a}}\sqrt{\frac{1}{\alpha_1}\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{KS}}},$$

$$\frac{\Theta}{\mathrm{P}} = \left(a + \frac{1}{a}\right) r\alpha_1,$$

$$\frac{\mathfrak{T}}{\mathrm{P}} = \frac{a + \frac{1}{a}}{\sqrt{a}} \; \frac{r}{\rho}\sqrt{\alpha_1 \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{KS}}}.$$

Soient V_1 Θ_1 $\mathfrak{T}_1$ les valeurs correspondant à l'allure 1.

$$\mathrm{V}_1 = \sqrt{\frac{1}{\alpha_1}\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{KS}}},$$

$$\frac{\Theta_1}{\mathrm{P}} = 2r\alpha_1,$$

$$\frac{\mathfrak{T}_1}{\mathrm{P}} = \frac{2r}{\rho}\sqrt{\alpha_1 \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{KS}}},$$

d'où les relations simples :

$$\mathrm{V} = \mathrm{A}_1\mathrm{V}_1 \qquad \text{avec} \qquad \mathrm{A}_1 = \frac{1}{\sqrt{a}},$$

$$\Theta = \mathrm{B}_1\Theta_1 \qquad \mathrm{B}_1 = \frac{a + \frac{1}{a}}{2},$$

$$\mathfrak{T} = \mathrm{C}_1\mathfrak{T}_1 \qquad \mathrm{C}_1 = \frac{a + \frac{1}{a}}{2\sqrt{a}}.$$

α_1 étant une caractéristique pour chaque aéroplane, il en est de même de V_1 Θ_1 $\mathfrak{G}_1$, qu'on pourra déterminer au même titre que le poids et la surface. Ces caractéristiques étant connues, il suffira de se reporter à la table IV pour avoir les coefficients $A_1B_1C_1$ permettant d'obtenir, par une simple multiplication, la vitesse, l'effort de traction et la puissance relative à une allure quelconque a.

Dans les formules, la vitesse est exprimée en mètres par seconde, l'effort de traction en kilogrammes, et la puissance en kilogrammètres par seconde.

On peut ainsi dresser des tables à double entrée qui donnent, pour tout aéroplane à surfaces légèrement incurvées, les valeurs de V_1 et de $\frac{\mathfrak{G}_1}{P}$ en fonction des deux éléments $\frac{P}{KS}$ et α_1 (il est inutile de dresser une table pour $\frac{\Theta_1}{P}$, qui est proportionnel à α_1). J'ai préféré calculer ces tables en fonction des deux éléments $\frac{P}{S}$ et $f(\alpha_1 K)$, de façon à mettre en évidence la notion de la *charge par mètre carré de voilure*, qui est d'usage courant en Aviation. Au reste, si, dans la théorie, la surface efficace KS apparait seule, et si, par conséquent, on peut donner à S et à K des définitions arbitraires, il convient en pratique, pour éviter toute confusion et parler aux yeux, de prendre pour S la somme des voilures réelles, ou plutôt la somme des projections des voilures, supposées placées sur un plan; ces deux dernières valeurs diffèrent du reste très peu.

Les tables V et VI donnent ainsi V_1 en fonction de $\frac{P}{S}$ et de $K\alpha_1$, $\frac{\mathfrak{G}_1}{P}$ en fonction de $\frac{P}{S}$ et de $\frac{\alpha_1}{K}$ en supposant $\frac{r}{\rho} = 2$. En vue des applications, j'ai exprimé la puissance en chevaux-vapeur par tonne d'aéroplane. Pour éviter aux praticiens toute interpolation, j'ai aussi établi un abaque à alignement qui remplit le même office : il suffit de joindre le point $\frac{P}{S}$ au point $K\alpha_1$, puis au point $\frac{\alpha_1}{K}$, pour avoir successivement, par simple lecture, les valeurs V_1 et $\frac{\mathfrak{G}_1}{P}$ (voir la planche à la fin du Mémoire).

Au lieu de déterminer V Θ $\mathfrak{G}$ par le système V_1 Θ_1 $\mathfrak{G}_1$ correspondant à l'allure 1, on pourrait les déterminer par le sys-

tème V_m Θ_m $\mathfrak{C}_m$ correspondant à l'allure $\sqrt{3}$ du minimum de puissance en palier. On aurait ainsi :

$$V = A_m V_m \qquad \text{avec} \qquad A_m = \frac{V_1}{V_m} A_1 = 1{,}32\ A_1,$$

$$\Theta = B_m \Theta_m \qquad\qquad B_m = \frac{\Theta_1}{\Theta_m} B_1 = 0{,}87\ B_1,$$

$$\mathfrak{C} = C_m \mathfrak{C}_m \qquad\qquad C_m = \frac{\mathfrak{C}_1}{\mathfrak{C}_m} C_1 = 1{,}14\ C_1.$$

La table IV donne les valeurs des coefficients $A_m B_m C_m$, les tables VII et VIII donnent V_m en fonction de $\frac{P}{S}$ et de $K\alpha_1$, $\frac{\mathfrak{C}_m}{P}$ en fonction de $\frac{P}{S}$ et de $\frac{\alpha_1}{K}$. Cette dernière table indique la puissance motrice minimum nécessaire à la marche en palier : elle fournit la condition de possibilité relative au moteur, dans l'hypothèse $\frac{r}{\rho} = 2$. Elle présente donc une grande importance. Si le rendement global ρ diffère de $\frac{1}{2}$, et qu'on ait pu le déterminer, il suffira, pour en tenir compte, de multiplier les valeurs de $\frac{\mathfrak{C}_m}{P}$ par le rapport 2ρ des rendements.

Il n'est pas nécessaire de construire un abaque spécial pour le deuxième système. Les échelles étant logarithmiques, on a :

$$\log V_m = \log V_1 - \log 1{,}32.$$

Par suite, il suffit de prendre l'abaque précédent et de faire glisser la graduation V_1 sur son support pour avoir la graduation V_m. De même pour la graduation $\frac{\mathfrak{C}_m}{P}$.

Un seul abaque fournit ainsi, par simple lecture, les valeurs de V_1 $\frac{\mathfrak{C}_1}{P}$ V_m $\frac{\mathfrak{C}_m}{P}$. Il peut être très utile aux praticiens; c'est pourquoi je l'ai dessiné à assez grande échelle, afin qu'il donne une approximation suffisante. Je présenterai plus loin quelques exemples de son emploi.

TABLE IV. — *Fonctions de l'allure a.*

a	SYSTÈME V_1 Θ_1 $\mathfrak{T}_1$			SYSTÈME V_m Θ_m $\mathfrak{T}_m$		
	A_1	B_1	C_1	A_m	B_m	C_m
0,5	1,41	1,25	1,76	1,86	1,09	2
0,6	1,29	1,13	1,46	1,70	0,98	1,66
0,7	1,19	1,06	1,26	1,57	0,92	1,44
0,8	1,12	1,02	1,14	1,48	0,89	1,30
0,9	1,05	1	1,05	1,39	0,87	1,20
1	**1**	**1**	**1**	**1,32**	**0,87**	**1,14**
1,1	0,95	1	0,95	1,25	0,87	1,08
1,2	0,91	1,01	0,92	1,20	0,88	1,05
1,3	0,88	1,03	0,91	1,16	0,90	1,04
1,4	0,85	1,05	0,89	1,12	0,91	1,01
1,5	0,82	1,08	0,89	1,08	0,94	1,01
1,6	0,79	1,11	0,88	1,04	0,97	1
1,7	0,77	1,14	0,88	1,01	0,99	1
$\sqrt{3}$	**0,76**	**1,15**	**0,88**	**1**	**1**	**1**
1,8	0,75	1,18	0,88	0,99	1,03	1
1,9	0,73	1,21	0,88	0,96	1,05	1
2	0,71	1,25	0,89	0,94	1,09	1,01
2,1	0,69	1,29	0,89	0,91	1,12	1,01
2,2	0,68	1,32	0,90	0,90	1,15	1,03
2,3	0,66	1,36	0,90	0,87	1,18	1,03
2,4	0,64	1,41	0,90	0,84	1,23	1,03
2,5	0,63	1,45	0,91	0,83	1,26	1,04

TABLE V. — *Valeurs de* V_1.

(en mètres par seconde)

$\frac{P}{S}$ kg/m²	$K\alpha_1$							
	0,200	0,175	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025
4	4,47	4,78	5,16	5,66	6,32	7,30	8,94	12,65
5	5	5,35	5,77	6,32	7,07	8,16	10	14,14
6	5,48	5,85	6,32	6,93	7,75	8,94	10,95	15,49
7	5,92	6,32	6,83	7,48	8,37	9,66	11,83	16,73
8	6,32	6,76	7,30	8	8,94	10,33	12,65	17,89
9	6,71	7,17	7,75	8,49	9,47	10,95	13,42	18,97
10	7,07	7,56	8,16	8,94	10	11,55	14,14	20
11	7,42	7,93	8,56	9,38	10,49	12,11	14,83	20,98
12	7,75	8,28	8,94	9,80	10,95	12,65	15,49	21,91
13	8,06	8,62	9,31	10,20	11,40	13,17	16,12	22,80
14	8,37	8,94	9,66	10,58	11,83	13,66	16,73	23,66
15	8,66	9,26	10	10,95	12,25	14,14	17,32	24,49
16	8,94	9,56	10,33	11,31	12,65	14,61	17.89	25,30
17	9,22	9,85	10,65	11,66	13,04	15,05	18,44	26,08
18	9,49	10,14	10,95	12	13,42	15,49	18,97	26,83
19	9,75	10,42	11,25	12,33	13,78	15,91	19,49	27,57
20	10	10,69	11,55	12,65	14,14	16,33	20 »	28,28

TABLE VI. — *Valeurs de* $\mathfrak{T}_1$

(en chevaux par tonne d'aéroplane, pour $\frac{r}{\rho} = 2$).

$\frac{P}{S}$	$\frac{\alpha_1}{K}$						
Kg/m²	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
4	23,84	33,73	41,31	47,70	53,33	58,42	63,10
5	26,67	37,71	46,20	53,33	59,63	65,32	70,56
6	29,23	41,31	50,60	58,42	65,32	71,55	77,28
7	31,57	44,62	54,65	63,10	70,56	77,28	83,48
8	33,73	47,70	58,42	67,46	75,42	82,62	89,24
9	35,79	50,60	61,97	71,55	80	87,64	94,66
10	37,71	53,33	65,32	75,42	84,32	92,37	99,78
11	39,55	55,94	68,51	79,10	88,43	96,88	104,65
12	41,31	58,42	71,55	82,62	92,37	101,20	109,30
13	43	60,81	74,47	86	96,15	105,32	113,77
14	44,62	63,10	77,28	89,24	99,78	109,30	118,06
15	46,20	65,32	80	92,37	103,28	113,14	122,20
16	47,70	67,46	82,62	95,40	106,67	116,85	126,21
17	49,17	69,54	85,17	98,34	109,95	120,44	130,10
18	50,60	71,55	87,64	101,20	113,14	123,94	133,87
19	51,98	73,52	90,04	103,97	116,24	127,33	137,54
20	53,33	75,42	92,37	106,67	119,26	130,64	141,11

TABLE VII. — *Valeurs de* V_m.

(en mètres par seconde)

$\frac{P}{S}$ kg/m²	$K\alpha_1$							
	0,200	0,175	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025
4	3,40	3,63	3,92	4,30	4,80	5,37	6,79	9,61
5	3,80	4,07	4,39	4,80	5,37	6,20	7,60	10,75
6	4,16	4,45	4,80	5,27	5,89	6,79	8,32	11,77
7	4,50	4,80	5,19	5,68	6,36	7,34	8,99	12,71
8	4,80	5,14	5,55	6,08	6,79	7,85	9,61	13,60
9	5,10	5,45	5,89	6,45	7,20	8,32	10,20	14,22
10	5,37	5,75	6,20	6,79	7,60	8,78	10,75	15,20
11	5,64	6,03	6,51	7,13	7,97	9,20	11,27	15,94
12	5,89	6,29	6,79	7,45	8,32	9,61	11,77	16,65
13	6,13	6,55	7,08	7,75	8,66	10,01	12,25	17,33
14	6,36	6,79	7,34	8,04	8,99	10,38	12,71	17,98
15	6,58	7,04	7,60	8,32	9,31	10,75	13,16	18,61
16	6,79	7,27	7,85	8,60	9,61	11,10	13,60	19,23
17	7,01	7,49	8,09	8,86	9,91	11,44	14,01	19,82
18	7,21	7,71	8,32	9,12	10,20	11,77	14,42	20,39
19	7,41	7,92	8,55	9,37	10,47	12,09	14,81	20,95
20	7,60	8,12	8,78	9,61	10,75	12,41	15,20	21,49

Condition de possibilité.

TABLE VIII. — *Valeurs de* $\mathfrak{C}_m$

(en chevaux par tonne d'aéroplane, pour $\frac{r}{\rho} = 2$).

$\frac{P}{S}$	$\frac{\alpha_1}{K}$						
K g/m²	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
4	20,98	29,68	36,35	41,98	46,93	49,23	51,41
5	23.47	33,18	40,66	46,93	52,47	57,48	62,09
6	25,72	36,35	44,53	49,23	57,48	62,96	68,01
7	27,78	39,26	48,09	51,41	62,09	68,01	73,46
8	29,68	41,98	49,23	59,36	66,37	72,70	78,53
9	31,50	44,53	54,53	62,96	70,40	77,11	83,30
10	33,18	46,93	57,48	66,37	74,20	81,29	87,81
11	34,80	49,23	60,29	69,61	77,82	85,25	92,09
12	36,35	51,41	62,96	72,70	81,29	89,06	96,18
13	37,84	53,51	65,53	75,68	84,61	92,68	100,12
14	39,26	55,53	68,01	78,53	87,81	96,18	103,89
15	40,66	57,48	70,40	81,29	90,89	99,56	107,54
16	41,98	59,36	72,70	83,95	93,87	102,83	111,06
17	43,27	61,20	74,95	86,54	96,76	105,99	114,49
18	44,53	62,96	77,11	89,06	99,56	109,07	117,80
19	45,74	64,70	79,24	91,49	102,29	112,05	121,04
20	46,93	66,37	81,29	93,87	104,95	114,96	124,17

Comparaison des Allures 1 et $\sqrt{3}$.

La table IV montre que l'on a :

$$V_m = 0{,}76\ V_1 \quad \text{ou} \quad V_1 = 1{,}32\ V_m,$$
$$\Theta_m = 1{,}15\ \Theta_1 \quad\quad \Theta_1 = 0{,}87\ \Theta_m,$$
$$\mathcal{C}_m = 0{,}88\ \mathcal{C}_1 \quad\quad \mathcal{C}_1 = 1{,}14\ \mathcal{C}_m.$$

Bien que l'allure $\sqrt{3}$ nécessite le minimum de puissance motrice, le colonel Renard conseille de rechercher l'allure 1, parce que, pour une augmentation de 14 0/0 de la puissance, on a une augmentation de 32 0/0 de la vitesse. Je suis entièrement de cet avis, d'autant que le rendement de l'hélice sera meilleur avec le minimum de traction, ce qui fera gagner un peu, par l'amélioration de ρ, sur l'excès de puissance que nécessite l'allure 1. Il en est de même du fait que les voilures courbes donnent une résistance à l'avancement qui diminue notablement avec l'angle d'attaque.

D'autre part, il est bien évident qu'on ne saurait se contenter d'emporter un moteur capable de fournir tout juste la puissance minimum. Il est bon d'avoir une marge d'au moins 15 0/0. Dès lors, on n'est pas gêné du côté de la puissance motrice, et il y a lieu de donner à la voilure l'inclinaison qui permet d'utiliser cette puissance aussi complètement que possible.

Mais l'inclinaison α_1 oblige à serrer le vent de beaucoup plus près, puisqu'elle est les 0,578 de α_m. Pour l'atteindre, il faut opérer par temps calme ou avec un aéroplane d'une excellente stabilité longitudinale, avec oscillations de faible amplitude. On est alors, en effet, beaucoup plus exposé au danger qu'une abaissée fortuite de l'avant ne provoque une pression de l'air sur le dessus de la voilure, ce qui entraînerait une chute rapide, ainsi qu'il est arrivé au malheureux Lilienthal. Des organes stabilisateurs, sont nécessaires, mais ils ne procurent pas toujours une sécurité suffisante, pour peu que l'air soit agité ; il faut rendre l'aéroplane inchavirable, soit par les propriétés mécaniques de ses formes, soit en recourant à d'autres moyens, dont je dirai un mot dans la troisième Partie. L'effet des variations du vent s'atténue d'ailleurs beaucoup avec la vitesse de l'aéroplane, ce qui est un autre argument en faveur de l'allure 1.

L'oiseau, étant inchavirable, serre le vent de très près sans aucun effort. J'ai émis l'opinion (1) qu'il emploie de préférence, suivant les cas, l'une ou l'autre des deux allures, en donnant instinctivement à ses ailes l'inclinaison qui convient. Il prend l'allure $\sqrt{3}$ à travail minimum quand il vole pour voler, par dilettantisme, ou que, en quête d'une proie, il cherche à se déplacer lentement, en décrivant des orbes au dessus de la région qu'il fouille. Il prend l'allure à traction minimum dans les grandes migrations, ce qui, pour une minime augmentation de fatigue, le fait aller beaucoup plus rapidement; sa vitesse propre, venant s'ajouter à celle des vents permanents qui existent à l'époque des migrations, lui permet de franchir des distances considérables.

Calcul de K.

La détermination du coefficient d'efficacité K a beaucoup préoccupé les aviateurs. Certains ont établi une confusion regrettable entre ce coefficient, relatif à des voilures dont l'inclinaison se maintient dans les limites propres aux aéroplanes, et le coefficient φ relatif au déplacement orthogonal d'une surface plane, mince et carrée. Théoriquement, K est donc fonction de l'inclinaison, mais nous avons vu que, dans les limites considérées, il est sensiblement constant; il est alors relié à φ par l'expression $K = \varphi\lambda_0\mu$ que j'ai donnée ci-dessus.

Le coefficient K peut être envisagé à deux points de vue :

1° Pour une voilure déterminée; et il serait bien intéressant, pour notre documentation sur les phénomènes complexes de l'Aérodynamique, d'instituer des expériences systématiques donnant sa valeur avec des surfaces de formes diverses;

2° Pour l'ensemble des voilures sustentatrices d'un aéroplane. Il a alors une valeur moyenne $K = \frac{\Sigma K_n S_n}{\Sigma S_n}$ dont la connaissance offre un très grand intérêt pratique. On pourrait évidemment la calculer à l'aide de cette dernière relation si l'on connaissait bien les valeurs K_n pour les diverses surfaces. Mais, en l'état actuel, cette méthode est tout à fait incertaine. En effet, la formule de λ s'applique à des surfaces planes; il semble bien qu'on puisse

(1) *Le problème général de la navigation aérienne*, août 1897.



l'étendre à des surfaces légèrement concaves, engendrées par le déplacement d'un profil invariable parallèlement à lui-même; mais, quand la surface est arquée, comme la voilure des oiseaux, ou présente des côtes, comme cela a lieu avec le procédé de construction des voilures des frères Voisin, la valeur moyenne λ_0 a une valeur supérieure à celle qui résulte de l'allongement réel, et se rapproche de la valeur correspondant à un allongement infini : cela résulte, comme je l'ai expliqué, du mode d'écoulement de l'air sur ce genre de voilures, où les filets sont mieux canalisés. D'autre part, on connaît encore mal le coefficient μ relatif à l'influence de la concavité des voilures.

Appliquons néanmoins la méthode, à titre d'exemple, à la voilure de l'aéroplane Farman, tel qu'il a gagné le prix Deutsch-Archdeacon. Pour cet aéroplane, il nous faut tenir compte, dans le calcul de K, du biplan arrière, dont les surfaces, en raison de leur concavité, ont manifestement une double fonction : en même temps qu'elles donnent de l'empennage horizontal, elles concourent à la sustentation. Des surfaces planes placées, en régime normal, dans la direction du courant, n'auraient au contraire qu'une fonction stabilisatrice, et ne devraient pas être comptées dans le calcul de K.

Les surfaces de l'aéroplane Farman étaient les suivantes :

Biplan avant . . .	$10{,}0 \times 2 =$	$20{,}0$ m²	$\lambda_0 = 3{,}12$
	$9{,}2 \times 2 =$	$18{,}4$	$3{,}08$
Biplan arrière. . .	$2{,}7 \times 2 =$	$5{,}4$	$2{,}22$
	$2{,}7 \times 2 =$	$5{,}4$	$2{,}22$
Gouvernail de profondeur	$4{,}2 \times 1 =$	$4{,}2$	$2{,}55$
Surface totale.		$53{,}4$ m²	

Comme le montre l'abaque de λ, les valeurs de λ_0 indiquées dans ce tableau pour chaque surface correspondent à l'inclinaison moyenne de 5 degrés pour les biplans et de 10 degrés pour le gouvernail de profondeur, eu égard à l'allongement de chaque surface. Mais, pour les surfaces à côtes des biplans, λ_0 tend vers 3,55 pour l'inclinaison de 5 degrés. Afin de tenir compte de ce fait, prenons 3,5 pour le biplan avant et 3 pour le

biplan arrière. La valeur moyenne de λ_0, proportionnellement aux surfaces composantes, est donc :

$$\lambda_0 = \frac{(38,4 \times 3,5) + (10,8 \times 3) + (4,2 \times 2,55)}{53,4} = 3,32.$$

Avec $\mu = 1,5$, on obtient :

$$K = 0,08 \times 3,32 \times 1,5 = 0,399.$$

On voit toutes les incertitudes de la méthode. J'ai cru, néanmoins, intéressant d'en parler, d'une part, parce que ces incertitudes s'atténueront à mesure qu'on disposera d'un plus grand nombre d'expériences sur les surfaces et, par suite, qu'on pourra mieux apprécier l'influence de l'allongement, de la courbure, des formes, etc.; d'autre part, parce que la décomposition que la méthode implique conduit à rechercher l'amélioration du coefficient K par l'amélioration de chacun des éléments qui le composent.

Possibilité de graduer le Volant (ou le Levier) du Gouvernail de profondeur ; détermination de K et de α_1 par les Glissades.

K peut encore se déduire de mesures effectuées pendant le vol de l'aéroplane lui-même. Cette méthode permet aussi de calculer un projet, par comparaison avec des aéroplanes existants. Elle donne en même temps α_1, valeur qui caractérise la résistance à l'avancement de l'aéroplane considéré. Elle comporte deux procédés différents : 1° les glissades, avec moteur au repos; 2° le plein vol, sous l'action du moteur.

Les glissades ont les propriétés suivantes, que j'ai eu l'occasion de signaler en parlant du mécanisme de la marche :

1° Un aéroplane abandonné à lui-même, après avoir commencé par tomber suivant une trajectoire curviligne jusqu'à ce qu'il ait atteint une vitesse uniforme, glisse dès lors suivant la trajec-

toire rectiligne de pente — β, dont la valeur absolue est donnée par la relation :

$$\beta = \frac{\Theta}{P} = \left(a + \frac{1}{a}\right) r\alpha_1.$$

Cette relation dépend seulement de l'allure, c'est-à-dire de l'inclinaison de la voilure sur la trajectoire ;

2° Pour une allure donnée, la vitesse due à la pente ou au moteur ne change pas, quelle que soit la trajectoire parcourue, (pourvu, bien entendu, que le fonctionnement du propulseur n'altère pas les conditions d'écoulement de l'air sur la voilure). Donc la vitesse V de la glissade est aussi celle du vol horizontal, à la même allure, sous l'action du moteur ;

3° Par suite, le travail que devra produire le moteur dans ce vol horizontal est :

$$\mathfrak{T} = \frac{1}{\rho} \beta VP.$$

4° En outre, si, comme il convient, l'arbre de l'hélice passe à faible distance du centre de gravité, les glissades permettent de régler les positions relatives des diverses parties de l'aéroplane de façon à assurer, dans le sens longitudinal, la fixité de sa position sur la trajectoire.

Ainsi donc, toute glissade avec une position connue du gouvernail de profondeur permet de déterminer la vitesse d'équilibre et le travail du vol horizontal correspondant à cette position : il suffit d'observer la pente β et de chronométrer la glissade dans la partie où elle est rectiligne. De là résulte la possibilité d'inscrire, en divers points du volant de manœuvre, la vitesse d'équilibre et le travail qui sont nécessaires quand ces points du volant sont amenés en face d'un index fixe ; (si le gouvernail était commandé par un levier, on pourrait graduer une plaque, comme pour une balance). Cette nouvelle application de la méthode des glissades est curieuse, sinon d'un grand intérêt pratique.

Au point de vue technique, il est intéressant de déterminer K et α_1. Il suffirait pour cela de connaître la valeur *a'* de *a* dans

une des glissades; soient β' et V' la pente et la vitesse correspondantes :

$$\alpha_1 = \frac{\beta'}{r\left(a' + \frac{1}{a'}\right)},$$

$$K = \frac{P}{SV'^2 a' \alpha_1}.$$

Mais il est impossible, en général, d'apprécier a, élément de nature aussi complexe que l'est l'inclinaison de la voilure.

On peut s'en dispenser en remarquant que β passe par un minimum en même temps que $a + \frac{1}{a}$, c'est-à-dire pour l'allure 1. Soit β_1 ce minimum; la vitesse de la glissade est alors V_1, et l'on a :

$$\alpha_1 = \frac{\beta_1}{2r}.$$

$$K = \frac{P}{SV_1^2 \alpha_1}.$$

Il suffira donc de considérer la glissade de pente minimum (c'est-à-dire de portée maximum, si, dans les divers essais, l'aéroplane prend le mouvement uniforme au même point).

C'est A. Pénaud qui semble avoir aperçu le premier tout le parti qu'on peut tirer des glissades (1). Il observa un corbeau et, parmi les observations faites par vent calme, il prit la moyenne de celles où il trouva le « vol le plus horizontal », c'est-à-dire où l'allure était la plus voisine de 1. Il trouva $\beta = 7$ degrés, $V = 11$ m/s. Or, $P = 0{,}505$ kg, $S = 0{,}1850$ m² (soit 0,1500 pour les ailes, 0,0350 pour le corps et la queue). En ne considérant pas r (coefficient qu'ignorèrent Pénaud et les aviateurs venus après lui), on en déduit :

$$K = \frac{0{,}505}{0{,}1850 \times 121 \times \sin 3°30'} = 0{,}370 \text{ (2)}.$$

(1) *L'Aéronaute*, janvier 1873.

(2) Pénaud eut la coquetterie de ne pas donner K, qui n'est pas rigoureusement une constante. Il l'exprima donc par la relation $K \sin 10° = 0{,}064$. Nous avons vu qu'entre les limites des inclinaisons utiles en Aviation, les variations de K sont assez faibles pour qu'on puisse l'exprimer indépendamment de l'inclinaison.

Cette valeur est certainement trop faible pour la voilure d'un oiseau. Cela tient, entre autres choses, à ce que Pénaud fit entrer la surface du corps dans la suface portante (on obtiendrait $K = 0,456$ avec $S = 0,1500$), et à ce que, d'après le récit de l'observation, le corbeau ne paraît pas avoir constamment descendu la trajectoire avec les ailes immobiles.

Trente années plus tard, en 1903, le colonel Renard indiqua les glissades comme susceptibles de donner la puissance motrice nécessaire au vol horizontal; il se servait à cet effet de sa notion de la qualité sustentatrice du planeur. La formule $\mathfrak{T} = \frac{1}{\rho}\beta VP$ que je viens d'établir résout plus simplement la question.

Mises en honneur par Lilienthal, puis par Chanute, comme méthode d'entraînement dans l'apprentissage du vol, les glissades furent introduites en France en 1901, notamment par le capitaine Ferber, qui les utilisa pour déterminer α_1 et K. Dans une série de soixante glissades exécutées avec un aéroplane de 135 kg et 30 m², cet aviateur constata que l'appareil tendait vers un maximum de 50 m de portée, pour 11,30 m de chute, avec une vitesse de 7,50 m/s (1). Il en déduisit :

$$\beta_1 = 13^\circ; \qquad \alpha_1 = 6^\circ 30' = 0,113; \qquad K = 0,700.$$

Cette valeur de K, notablement supérieure à la valeur trop faible obtenue par Pénaud pour le corbeau, me paraît par contre bien élevée pour l'aéroplane expérimenté.

On voit que la méthode des glissades, si séduisante, est d'une application délicate, et laisse une assez grande incertitude dans le calcul de α_1 et de K.

Tout d'abord, il est essentiel qne les observations soient faites par temps calme. On pourrait bien tenir compte, dans une certaine mesure, d'un vent horizontal en proue ou en poupe, mais non d'un vent ayant une composante verticale.

Il y a aussi l'incertitude résultant de ce qu'on connaît fort mal la valeur de r, à laquelle α_1 est inversement, et K directement proportionnel. Il est donc à désirer qu'on fasse des mesures systématiques directes pour mesurer les composantes de la pression sur les surfaces incurvées.

(1) *Les progrès de l'Aviation par le vol plané.*

Il faut ensuite ne considérer que des trajectoires bien rectilignes, chronométrer avec soin, relever exactement les pentes en remarquant que la trajectoire de plus grande portée n'est pas nécessairement celle de pente minimum, car les trajectoires rectilignes sont précédées de trajectoires curvilignes différentes.

Pour la précision des mesures, on a intérêt à opérer avec une vitesse auxiliaire plus faible, en allégeant l'aéroplane. Mais il faut prendre toutes précautions pour conserver la valeur de σ, qui influe sur α_1, ainsi que la valeur de a. Si donc on enlève le moteur, on devra le remplacer par un appareil léger donnant même résistance à l'avancement, et sans que l'aéroplane, suspendu en deux points symétriques, change d'inclinaison. Au reste, en diminuant le poids total de moitié, on ne diminue V que des trois dixièmes.

Enfin, il importe de reconnaître les groupes d'observations (β, V) qui sont acceptables. J'ai imaginé, à cet effet, une méthode graphique qui permet d'éliminer les observations mauvaises, de corriger efficacement les autres, et, en outre, de déterminer les caractéristiques de l'allure 1. Voici cette méthode :

Pour toute observation (β, V), on doit avoir :

$$V = \frac{V_1}{\sqrt{a}},$$

$$\beta = \left(a + \frac{1}{a}\right) r\alpha_1.$$

Formons les quantités V^4, βV^2, et posons :

$$x = V^4 = \frac{V_1^4}{a^2},$$

$$y = \beta V^2 = \left(1 + \frac{1}{a^2}\right) r\alpha_1 V_1^2.$$

Les points figuratifs x, y de chaque glissade doivent être sur la droite :

$$y = \left(1 + \frac{x}{V_1^4}\right) r\alpha_1 V_1^2,$$

qui a $x = -V_1^4$ et $y = r\alpha_1 V_1^2$ comme abscisse et comme ordonnée à l'origine.

L'allure $a = 1$ donnerait $x = V_1^4$; le point figuratif de l'allure 1 est donc D *(fig. 11)*, symétrique de A par rapport à C.

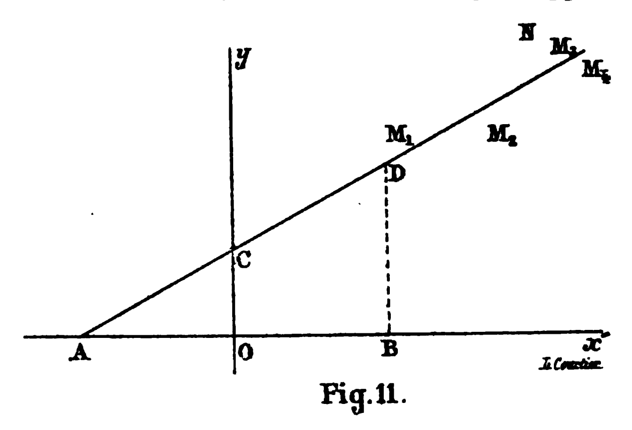


Fig. 11.

Les points figuratifs des diverses observations étant $M_1 M_2 M_3$..., on fera passer entre eux une droite, en négligeant ceux qui se trouvent très en dehors, comme N, et qui correspondent à une observation mauvaise; on mesurera l'abscisse et l'ordonnée à l'origine, d'où l'on déduira V_1 et $r\alpha_1$.

Quoi qu'il en soit de l'incertitude inhérente à la méthode des glissades, il serait intéressant qu'elle fût largement appliquée, car elle fournit des indications précieuses tant pour le champ des variations pratiques entre lesquelles peuvent évaluer les caractéristiques d'un aéroplane que pour la détermination de K et de α_1. Il convient toutefois de remarquer que ces diverses caractéristiques ne seront pas toujours absolument les mêmes dans les glissades et en plein vol. Ainsi, elles peuvent être modifiées par l'influence de l'hélice, qui change les conditions de l'écoulement de l'air sur les surfaces sustentatrices, surtout si elle est placée en avant.

Digression sur le vol des oiseaux.

Les glissades et le vol plané. — Permettez-moi d'ouvrir ici une assez longue parenthèse en faveur du vol des oiseaux. Je suis amené à cette digression par ce fait que les glissades, si intéressantes pour l'étude de la marche des aéroplanes, ne le sont

pas moins pour l'étude du *vol plané*. Mais les battements des ailes me semblent modifier trop profondément la surface efficace et la résistance à l'avancement pour qu'il soit possible de déterminer ainsi les caractéristiques du *vol ramé*.

Les glissades se font, d'après Mouillard et Bretonnière, sous un angle de 10 degrés environ. En admettant, comme je l'ai dit, qu'elles aient lieu à l'allure $\sqrt{3}$, et en prenant $r = 1$, valeur vraisemblable pour l'aile des oiseaux, la formule :

$$\alpha_1 = \frac{\beta}{a + \frac{1}{a}}$$

indique $\alpha_1 = 0{,}076$. L'oiseau a, d'ailleurs, une assez faible vitesse et donne, en quelque sorte, l'impression qu'il se raidit pour la modérer. C'est un indice certain que la surface a une excellente efficacité. J'estime que le coefficient K de l'aile immobile est très notablement supérieur à celui de l'aile battante. Le premier devra se déduire de l'observation des glissades, le second d'observations en plein vol. Les données nous manquent encore pour les comparer avec quelque chance d'exactitude.

1° Étudions d'abord les glissades du vol plané en air calme.

Elles ont des pentes très diverses, parfois fort grandes, suivant l'orientation que les oiseaux donnent à leurs ailes, en vue d'exécuter telle ou telle manœuvre. En raison des valeurs élevées que peut prendre l'angle β, il n'est plus licite de poser $\sin \beta = \beta$, $\cos \beta = 1$, comme je l'ai fait pour les aéroplanes, qui ne sauraient, du moins actuellement, suivre des trajectoires à fortes pentes sans compromettre la sécurité des passagers. Dès lors, il convient de prendre comme équations d'équilibre, en faisant $r = 1$:

$$P \cos \beta = KSV^2\alpha,$$

$$\Theta_\beta = \varphi\sigma V^2 + KSV^2\alpha^2 + P \sin \beta.$$

Les glissades sont donc caractérisées par le système :

$$\operatorname{tg} \beta = \left(a + \frac{1}{a}\right)\alpha_1,$$

$$P \cos \beta = KSV^2\alpha_1 a.$$

Ces deux équations, où a est considéré comme paramètre, peuvent se représenter en coordonnées polaires β, V (*fig. 12*). Pour toute valeur de β, la première donne deux valeurs de V : donc, théoriquement, une trajectoire rectiligne de pente déterminée peut être parcourue à deux vitesses, la plus petite correspondant à la plus grande valeur de a, c'est-à-dire à la plus forte inclinaison des ailes sur le corps de l'oiseau, lequel est toujours allongé sur la trajectoire.

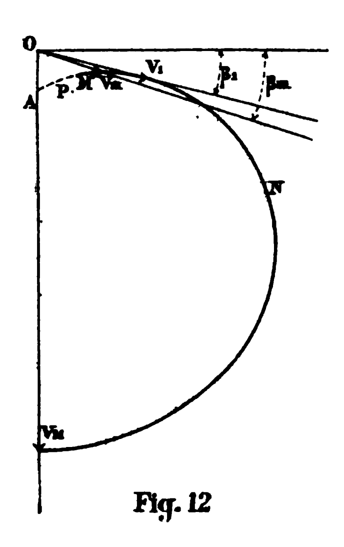


Fig. 12

Comme précédemment, β passe par sa valeur minimum β_1 quand $a + \frac{1}{a}$ est minimum, soit pour l'allure 1. On en déduit $\operatorname{tg} \beta_1 = 2\alpha_1$; $\cos \beta$ étant alors très voisin de 1, on a :

$$V_1 = \sqrt{\frac{1}{K\alpha_1}} \sqrt{\frac{P}{S}}.$$

Déterminons le point le plus élevé de la courbe, autrement dit la vitesse ayant la plus petite composante verticale. Pour une vitesse quelconque, cette composante h est donnée par la relation :

$$h^2 = V^2 \sin^2\beta$$

$$= \frac{P \sin^2 \beta \cos \beta}{KS\alpha_1 a}.$$

Or, dans la partie de la courbe envisagée, où β est très petit, on peut prendre $\sin^2 \beta \cos \beta = \operatorname{tg}^2 \beta$, d'où :

$$h = \frac{a + \frac{1}{a}}{\sqrt{a}} \sqrt{\frac{\alpha_1}{K} \frac{P}{S}}.$$

Au coefficient $\frac{r}{\rho}$ près, c'est la valeur que nous avons trouvée

pour $\frac{\mathfrak{T}}{P}$: résultat à prévoir, car la puissance développée par la chute est égale à hP. Donc h est minimum en même temps que $\mathfrak{T}$, c'est-à-dire pour l'allure $\sqrt{3}$.

$$h_m = 1{,}75 \sqrt{\frac{\alpha_1}{K} \frac{P}{S}},$$

h_m est aussi donné par la table VIII (condition de possibilité) : il suffit d'en multiplier les nombres par $\frac{75}{2\,000} = 0{,}0375$.

De là ce théorème remarquable :

Tandis que l'allure 1 du minimum de traction donne la glissade à inclinaison minimum, qui procure le plus long parcours, l'allure $\sqrt{3}$ du minimum de puissance donne la glissade à minimum de chute par seconde, qui procure le plus long séjour.

Cette conclusion fortifie l'hypothèse que j'ai émise plus haut, d'après laquelle l'oiseau prend l'allure $\sqrt{3}$ quand il vole pour le plaisir de voler, par dilettantisme : car c'est l'allure qui lui permet d'utiliser le mieux les courants ascendants, ce qu'il ne manque jamais de faire : elle doit donc lui être familière.

Étudions le cas limite $\beta = 90$ degrés. Les deux valeurs de a sont 0 et ∞. Pour $a = 0$, la deuxième équation devient une identité : V est donc indéterminé ; on lève facilement l'indétermination, et l'on trouve :

$$V_M^2 = \frac{P}{KS\alpha_1^2} = \frac{P}{\varphi\sigma}.$$

C'est la vitesse de régime qui correspond à la chute de l'oiseau, le corps étant vertical et les ailes coupant l'air de façon à ne produire aucune réaction sustentatrice. Cette chute suivant la verticale, ou suivant une pente très raide, est fréquemment employée par les rapaces ; ils fondent sur leur proie, et, s'ils la manquent, ils inclinent rapidement leur voilure, de façon à transformer en travail ascensionnel leur force vive, alors très considérable, pour lier et trousser leur victime par dessous : c'est la manœuvre que les fauconniers désignaient sous le nom de ressource (resurgere). V_M est la plus grande valeur de V dans les glissades effectuées à vitesse constante, les ailes déployées.

Toutefois, l'oiseau pourrait augmenter encore sa vitesse de chute en couchant ses ailes le long du corps, ce qui diminuerait la résistance de l'air : mais ce cas sort du problème envisagé.

L'autre valeur $a = \infty$, correspondant à $\beta = 90$ degrés, est à rejeter, car la loi admise pour la réaction de l'air sur la voilure suppose que celle-ci fasse un angle assez faible avec la trajectoire. C'est pourquoi, à partir d'un certain point M, la courbe polaire que donneraient les équations ci-dessus ne représenterait plus les vitesses des glissades. Pour avoir la courbe exacte, il faudrait faire intervenir la loi complexe et mal connue de la pression de l'air sur des surfaces courbes fortement inclinées : encore n'obtiendrait-on ainsi la courbe qu'autant que le corps resterait couché sur la trajectoire. Mais, à partir d'un certain point P, le corps suit plus ou moins l'inclinaison des ailes, et il est horizontal en A, comme les ailes elles-mêmes : l'oiseau se laisse alors tomber à la façon d'un parachute. J'ai tracé en traits interrompus cette partie inconnue MPA de la courbe (*fig. 12*) : elle correspond, d'ailleurs, à des manœuvres fort rares (1).

En ce qui concerne les glissades proprement dites, on peut les classer comme suit :

Entre OP et OM, glissades à faibles vitesses, généralement employées pour préparer l'atterrissage. Les ailes notablement inclinées par rapport au corps, l'oiseau arrive ainsi à faible distance du sol, puis, pour atterrir sans dommage, il termine la glissade en relevant aussi son corps, de façon à éteindre presque complètement sa vitesse : on peut observer fréquemment cette manœuvre sur les pigeons domestiques;

Entre OM et ON, glissades à vitesses moyennes. Elles comprennent la glissade OV_m à chute minimum, et la glissade OV_1 à parcours maximum, pour un oiseau partant d'un point donné;

Entre ON et OV_M, glissades rapides, pratiquées dans les chasses, les ailes effacées sur le courant.

J'ai construit la courbe des glissades, en donnant à α_1 et à K les valeurs moyennes 0,075 et 0,8, qui semblent convenir pour les oiseaux d'après les observations faites jusqu'ici. Pour avoir les vitesses en m/s, il suffit de multiplier par $\sqrt{\frac{P}{S}}$ les nombres inscrits sur le diagramme ci-contre. $\frac{P}{S}$ est, d'ailleurs, une des prin-

(1) Confer : A. Goupil. *Aéro-Revue*, mai 1908.

GLISSADES DES OISEAUX EN AIR CALME

horizon

inclinaison minimum · 8°30'

inclinaison du minimum de chute · 9°50'

4
3
1.85
5.5
20°
8.5
30°
40°
10.45
50°
11.9
60°
13
70°
13.9
80°
14.4
90°
15.8

cipales caractéristiques des diverses espèces, et voici les valeurs moyennes qu'en a données M. Tatin, pour trois groupes de dix oiseaux chacun (1) :

1,984 pour les petites espèces (mésange, hirondelle, bergeronnette, guêpier, maubèche, moineau, martinet, alouette);

3,035 pour les espèces moyennes (épervier, vanneau, crécerelle, mouette, pie, faucon, chouette, hibou, corneille);

8,700 pour les grandes espèces (oie, cigogne, pétrel géant, flamant, dindon sauvage, pélican, vautour).

En chiffres ronds, on peut admettre 2 pour les petites espèces, 3 pour les moyennes, 8 à 9 pour les grandes, 10 à 12 pour les très grandes (vautour fauve).

Toutes choses égales d'ailleurs, le rapport des vitesses de glissades entre les très grandes et les petites espèces est seulement de 2,5 environ.

2° Étudions maintenant les glissades par un vent de vitesse $O'I' = u$ *(fig. 13)*. Prenons comme plan de projection vertical le plan vertical passant par O'I', et traçons-y en O'M'N' la courbe de la figure 12. C'est la méridienne d'une surface de révolution, d'axe vertical O' projeté en O, qui constitue *en air calme* le lieu des points auxquels arrive le planeur, parti du point O', au bout de l'unité de temps. Soit m, m' un de ces points. L'oiseau qui parcourrait ainsi la droite Om, $O'm'$ en air calme, en partant de O', parcourra Im, $I'm'$ par le vent u, en partant de I'. On a donc le diagramme des vitesses en prenant I, I' pour nouvelle origine.

Tous les points $m\ m'$, $m_1\ m'_1$ d'un même parallèle correspondent à une même allure, c'est-à-dire à une même orientation des ailes par rapport au corps de l'oiseau. $I'm'_1$ est donc sa plus grande, et $I'm'_2$ sa plus petite vitesse *apparente*.

Pour l'allure a_0 qui correspond au parallèle passant par I', les vitesses apparentes sont toutes horizontales, quel que soit le méridien dans lequel s'effectue la glissade. Si le planeur décrit un orbe à l'allure a_0, il se maintiendra donc dans un plan horizontal, avec des vitesses apparentes variant entre Ip_1 et Ip_2. Si le point I' est sur la méridienne, en p'_2, le planeur, effectuant la glissade de direction $O'\ p'_2$, paraîtra immobile au sein de l'air.

Ainsi, pour que les planeurs puissent se maintenir dans un plan horizontal, il faut et il suffit que le plan horizontal passant

(1) *L'Aérophile*, novembre 1907.

par I′ coupe la surface, c'est-à-dire que *la composante verticale du vent soit ascendante et au moins égale à* $1{,}75\sqrt{\frac{\alpha_1}{K}\frac{P}{S}}$. Avec les valeurs

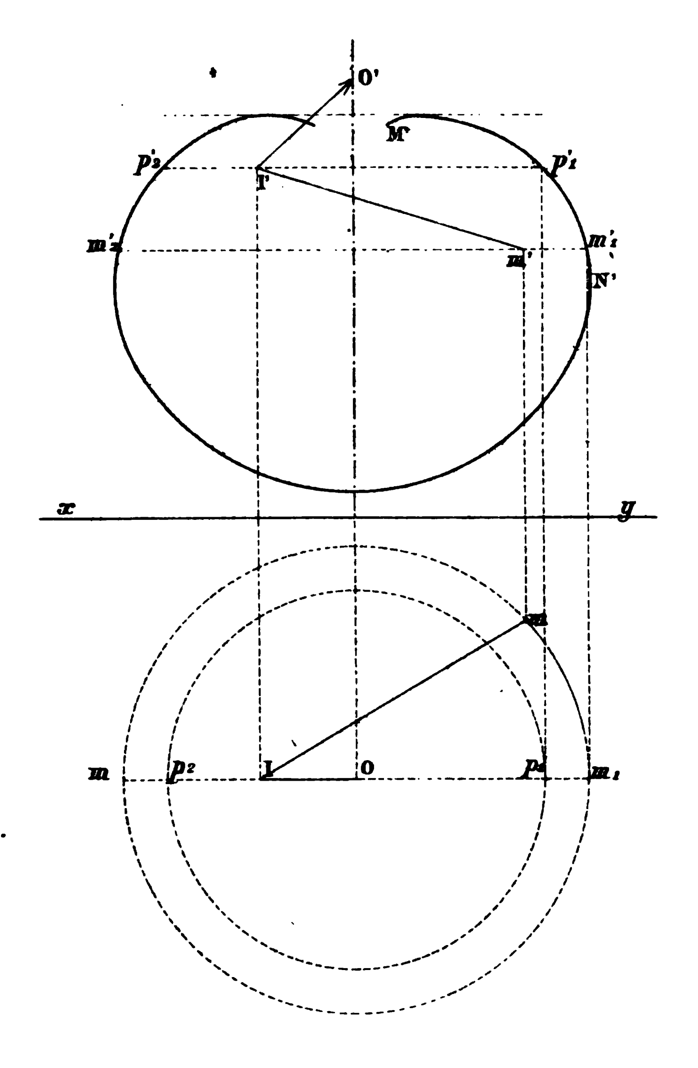


Fig. 13

moyennes prises pour α_1 et K, cette quantité est $0{,}535\sqrt{\frac{P}{S}}$. Il suffit donc d'un vent ayant une composante ascendante de 0,75 mètre-seconde pour soutenir les petites espèces, portant 2 kg par mètre

carré, et de 1,85 mètre-seconde pour soutenir les très grandes espèces, portant 12 kg.

On voit donc avec quelle facilité les oiseaux *des petites espèces* peuvent pratiquer le vol plané horizontal par des vents même faiblement ascendants. Il faut des vents déjà assez fortement ascendants pour les grandes espèces. Pour les aéroplanes, où K est plus petit et $\frac{P}{S}$ plus grand, la valeur de h_m est sensiblement plus élevée. Ainsi, avec le monoplan de M. Esnault-Pelterie, dont la forme se rapproche assez de celle des planeurs, nous verrons que l'on a sensiblement $K = 0,4$, $\alpha_1 = 0,075$, $\frac{P}{S} = 14,76$: d'où $h_m =$ 2,90 mètres-seconde. Telle serait la composante verticale que devrait avoir la vitesse du vent pour maintenir cet aéroplane dans un plan horizontal, par une glissade avec moteur au repos. Des vents ascendants d'une telle intensité ne se rencontreront que très exceptionnellement. Au reste, contrairement à l'opinion récemment émise par M. Marcel Deprez (1), cette utilisation est sans aucun intérêt pratique. Ce qu'il est plus important de chercher, pour les aéroplanes, ce sont des formes de voilure provoquant, aux faibles inclinaisons, la contre-résistance à l'avancement dont j'ai parlé plus haut.

Le vol à voile. — Après avoir dit quelques mots du vol ramé, et m'être étendu plus longuement sur le vol plané, il me reste à parler d'un troisième genre de vol, *le vol à voile*. Marey l'a distingué du planement parce qu'il se soutient pendant des heures, tandis que celui-ci est intermittent et alterne avec des battements d'ailes. L'analyse qui précède me semble prouver que cette distinction intuitive est fondée ; elle montre, en effet, que le planement est plus faible pour les petites espèces, alors que l'observation indique que le véritable vol à voile est pratiqué par les oiseaux de grandes tailles. La masse y joue donc un rôle utile, et cette constatation donne de suite l'idée de rechercher l'explication du vol à voile dans les variations du vent. Au reste, les conditions climatériques et topographiques particulières aux régions où il est pratiqué (vastes déserts, océans) montrent bien qu'il a un mécanisme différent du simple planement, qu'on observe en tous pays. Certes, tout comme les planeurs, les voiliers ne manquent

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, avril 1908.

pas d'utiliser les courants ascendants, quand ils ont la bonne fortune d'en rencontrer ; mais ces courants ne sauraient constituer une explication *générale et systématique* du vol à voile ! Cette explication, je l'ai donnée avec ma *théorie des vagues aériennes*, exposée ici même pour la première fois (1), et que je vais brièvement rappeler.

Les expériences de Langley ont prouvé que, dans les bas-fonds de l'atmosphère, il existe de perpétuelles pulsations, alors même que le vent est à peine perceptible : c'est ce qui donne le continuel flottement des drapeaux. Par des vents plus forts, ces pulsations sont extrêmement heurtées, et échappent à toute loi. Langley les mit en évidence à l'aide d'anémomètres d'inertie très réduite, et trouva qu'elles sont irrégulières et d'une très grande fréquence. Il en attribua la cause aux aspérités de la surface terrestre et crut qu'elle s'éteignaient avec l'altitude. J'ai expliqué que, tout au contraire, *elles s'étendent, en se régularisant, à toute la masse atmosphérique,* leur cause étant dans les variations calorifiques qui se produisent au sein de cette masse, et conséquemment dans l'énergie solaire elle-même. Loin d'en être la cause, les aspérités du sol sont un obstacle à la régularité que tendent à prendre ces mouvements internes, et qui se produit dès qu'on s'élève dans l'atmosphère à une hauteur suffisante pour échapper à l'influence perturbatrice des aspérités naturelles ou artificielles du sol, de la diversité du rayonnement sur les multiples cultures qui le recouvrent, etc. Alors les pulsations ont un rythme régulier, caractérisé par une double périodicité dans le temps et dans l'espace, de telle sorte que, si X X′ est la direction générale et U la vitesse moyenne du vent *(fig. 14)*, une molécule d'air M, en même temps qu'elle participe au déplacement général, se déplace sensiblement suivant U avec une vitesse propre δU, alternativement positive et négative, donnée par une formule telle que :

$$\delta U = f(U) \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

t est le temps, T et λ la durée et la longueur d'onde, x la distance de la molécule à un plan Y Y′, perpendiculaire à U, qui est entraîné lui-même par le déplacement général. La sinusoïde figure par ses ordonnées la valeur $MN = \delta U$ des variations de U.

(1) *Navigation aérienne* 1902, et A. Berget, *Ballons, Dirigeables et Aéroplanes*, 1908.

M. le commandant Le Clément de Saint-Marcq, du génie belge, a donné récemment une théorie qu'il a pu croire nouvelle (1), mais qui n'ajoute rien à la mienne, si ce n'est qu'elle en confirme le principe par un ensemble d'observations intéressantes. Car rien n'est moins hypothétique que ma conception, dont la matérialisation peut quelquefois s'observer sur la terre même : telles sont les ondulations sur un champ de jeune blé, alors que les tiges, courtes et souples, obéissent instantanément, avec une faible rémanence, aux mouvements de l'air. Elle est du reste rigoureusement conforme aux lois générales de la Mécanique. Un choc à l'extrémité d'une corde tendue produit des déplace-

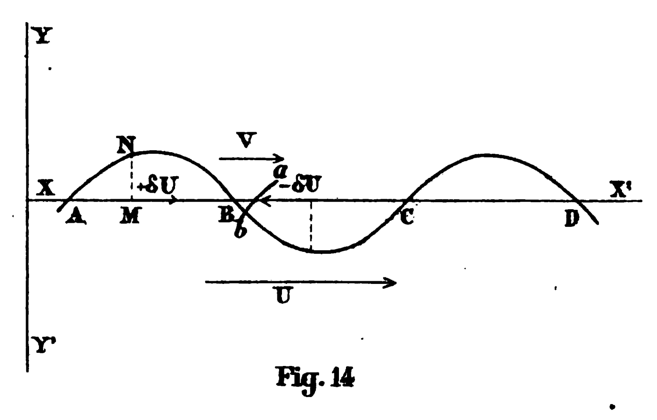


Fig. 14

ments ondulatoires de tous ses points ; le son détermine dans un tuyau d'orgue des compressions et des dilatations alternatives de la colonne gazeuse; la matière impondérable elle-même est soumise à la merveilleuse loi des ondes à vibrations transversales que le génie de Fresnel a mise en lumière : quand les molécules pondérables ou impondérables obéissent à des déplacements relatifs rythmés, comment supposer que l'air se déplace d'un mouvement rigide, alors qu'il est formé de molécules d'une extrême mobilité, qu'il est éminemment perméable à tous les mouvements extérieurs, qu'il est le siège d'actions calorifiques qui varient sans cesse ? En vérité, l'hypothèse d'un vent rigide ascendant ne peut tenir devant ces considérations. C'est un concept commode pour les besoins du calcul ; ce ne saurait être une réalité physique.

(1) *Procès-verbaux et Comptes rendus de la session extraordinaire de la Commission permanente internationale d'Aéronautique*, tenue à Bruxelles, en septembre 1907, et discussion de la Communication de M. Le Clément de Saint-Marcq, par MM. R. Soreau, Baldit, commandant P. Renard, Guillaume et colonel Van den Borren.

Au reste, un météorologiste distingué, M. Baldit, a fait remarquer, à l'appui de ma théorie, que des variations régulières à courte période sont mises très nettement en évidence sur certaines courbes de l'anémomètre-cinémographe du sommet de la Tour Eiffel, qui donne à chaque instant la vitesse *réelle* du vent; au contraire, ces variations ne sont jamais aussi nettes — quand elles existent — sur les courbes de l'anémomètre installé au Bureau Central Météorologique, presque au pied de la Tour.

Ce sont, ai-je dit, les actions calorifiques, dont le principe se trouve dans la chaleur solaire elle-même, qui sont la source de ce *travail interne du vent*, suivant la forte expression de Langley, travail que le voilier sait admirablement substituer à son propre travail musculaire. Comment ce travail est-il capté par le voilier? Ici, diverses hypothèses sont permises, entre lesquelles des observations ultérieures permettront un jour de discerner la bonne. Une des plus simples est la suivante : aussi longtemps que le voilier rencontre des δU de même sens que sa propre vitesse V, il effectue dans le vent, horizontal ou non, une glissade à minimum de chute; mais, dès qu'il rencontre des δU de sens contraire, il oriente ses ailes de façon à obtenir de ces variations le maximum d'effet sustentateur, afin de regagner dans la demi-onde BC la hauteur perdue dans la demi-onde AB.

Ce gain pourrait être grandement facilité par la manœuvre suivante. En raison de l'effet de turbine qui se produit vers l'arrière des surfaces sustentatrices, c'est le premier tiers avant de l'aile qui est généralement efficace. Mais si les deux autres tiers venaient presser progressivement sur les filets fluides, leur efficacité sustentatrice serait beaucoup augmentée, et la totalité de la surface serait alors excellemment porteuse. Toutefois, cette pression ne pourrait avoir d'effet que pendant un temps assez court, car le pivotement des rémiges autour du bord d'attaque de l'aile est limité; dès qu'il s'arrêterait, les filets d'air, ayant pris une incurvation nouvelle, reproduiraient le même effet de turbine. Mais alors les rémiges, s'étant progressivement tendues pendant le parcours BC, se détendraient pendant le parcours CD, ce qui, d'ailleurs, augmenterait la vitesse propre du voilier, et le mettrait en situation d'utiliser encore mieux les δU au delà de D, où la tension des rémiges se reproduit. Une telle manœuvre, que j'indique seulement pour donner nne idée des artifices possibles, est peut-être réalisée par les oiseaux ayant des

muscles alaires assez développés : tel ne paraît pas être le cas des grands voiliers.

Quoi qu'il en soit du procédé par lequel les voiliers captent la puissance vive emmagasinée dans les vagues aériennes, il ne suppose pas chez eux l'instinct exceptionnel qu'on leur a gratuitement prêté, car l'utilisation de mouvements rythmés est familière à tous les êtres : tels, le galop pour le cheval, et même la valse pour le moins instinctif des êtres animés. On comprend, dès lors, l'influence de la masse, qui empêche le voilier de participer instantanément aux variations du vent, condition essentielle pour qu'il puisse les utiliser.

L'explication du vol à voile par les courants ascendants, qui trouve encore quelques partisans, satisfait beaucoup moins l'esprit. Certes, il n'est pas douteux que les voiliers, comme tous les autres oiseaux, ne les utilisent quand ils ont la bonne fortune d'en rencontrer. Mais de tels courants sont localisés, et ne sauraient constituer la cause systématique et générale du vol à voile. La précédente théorie des glissades montre qu'ils soutiennent beaucoup mieux les espèces où $\frac{P}{S}$ est moindre, c'est-à-dire les oiseaux de petite taille, tandis que les voiliers appartiennent plutôt aux grandes espèces. Au reste, alors qu'on voit souvent, au dessus des vastes plaines sablonneuses d'Égypte, des centaines de voiliers disséminés dans le ciel, à toutes hauteurs et dans toutes les directions, comment admettre qu'un énorme courant ascendant existe sur de pareilles étendues ? A la vitesse de 0,75 m par seconde qu'il faut aux grands voiliers, ce courant créerait un appel d'air formidable !

Quant aux vibrations des ailes, imaginées pour expliquer le vol à voile, elle n'ont jamais pu être saisies par de sagaces observateurs, comme Mouillard, qui a vu les voiliers de près ; en admettant qu'elles existent, elle seraient tout à fait impuissantes à entretenir la sustentation, car les muscles qui commandent les mouvements des extrémités des rémiges sont, je le répète, fort peu développés chez les grands voiliers.

Méthode du Plein vol.

Après cette digression sur le vol des oiseaux, revenons à la détermination de K et de α_1 pour les aéroplanes.

Si, en dehors des mesures purement sportives, on voulait

bien se décider à faire quelques mesures scientifiques, il conviendrait, tout d'abord, d'évaluer la vitesse et la puissance. De telles mesures formeraient une documentation précieuse, tout à fait indispensable si l'on veut asseoir la technique de l'aéroplane sur des bases solides. Le plus souvent, on s'est contenté jusqu'ici d'évaluer la distance sportive et la durée du vol. La première est la longueur du contour polygonal défini par les jalons; elle diffère plus ou moins du parcours réel. Dès lors, la précision sur la durée est scientifiquement inutile, mais, au point de vue sportif, quelques chronométreurs ont la coquetterie de relever la fraction de seconde. Dans les mesures vraiment scientifiques, on se pliera à cette règle fondamentale : le degré de précision des instruments de mesure doit être en corrélation étroite avec le degré de précision dont sont susceptibles les grandeurs à mesurer.

Si l'on connaissait la vitesse et la puissance propre, il suffirait de déterminer l'allure pour connaître les caractéristiques K et α_1. En effet, soient V et $\frac{\mathfrak{T}}{P}$ les valeurs mesurées, cette dernière étant transposée au besoin, de façon qu'on ait toujours $\frac{r}{\rho} = \frac{1}{2}$, afin de pouvoir employer l'abaque construit dans cette hypothèse. Supposons, pour un instant, que le vol ait eu lieu à l'allure 1. Sur l'abaque, joignons successivement le point $\frac{P}{S}$ aux points des échelles V_1 et $\frac{\mathfrak{T}_1}{P}$: nous obtenons des valeurs $K'\alpha'_1$ et $\frac{\alpha'_1}{K'}$, d'où nous déduisons K′ et α'_1, valeurs qu'il faut corriger, puisque l'allure est a. Soient K et α_1 les valeurs exactes. On a les relations :

$$aK\alpha_1 = K'\alpha'_1,$$

$$\frac{\left(a + \frac{1}{a}\right)^2}{a} \frac{\alpha_1}{K} = 4 \frac{\alpha'_1}{K'},$$

d'où

$$K = \frac{a + \frac{1}{a}}{2a} K',$$

$$\alpha_1 = \frac{2}{a + \frac{1}{a}} \alpha'_1.$$

Ces formules montrent la nécessité de connaître l'allure, et l'erreur grossière qu'on commettrait si, par exemple, on considérait comme marchant à l'allure 1 un aéroplane qui aurait évolué à l'allure $\sqrt{3}$ du minimum de puissance. On aurait, en effet :

$$K = 0{,}666\,K'$$

$$\alpha_1 = 0{,}866\,\alpha'_1.$$

Pour K, la valeur vraie serait les deux tiers de celle qu'on aurait trouvée.

Ainsi que je l'ai déjà remarqué, la détermination de l'allure est chose difficile. On a bien apprécié à peu près la vitesse propre et la puissance dans quelques envolées célèbres; mais on ne sait rien de l'allure à laquelle ces envolées se sont faites. Je calculerai donc les caractéristiques K et α_1 dans les deux hypothèses $a = 1$, $a = \sqrt{3}$: il est assez probable que les valeurs vraies sont comprises entre les limites ainsi obtenues. J'incline à croire qu'elles se rapprochent plutôt des limites données par l'allure $\sqrt{3}$, du moins dans les envolées des aviateurs qui se sont très sagement entraînés en partant de puissances motrices tout juste suffisantes, ce qui a dû les amener à une allure voisine du minimum de puissance.

Aéroplane Farman. — Prenons cet aéroplane tel qu'il a gagné le prix Deutsch-Archdeacon. D'après les données publiées par les frères Voisin (1), le poids total était de 530 kg: la vitesse de rotation du moteur fut seulement de 1 050 tours, correspondant à 38 ch; enfin, la surface était, comme on l'a vu, d'environ 53,4 m². Quant à la vitesse, on ne peut la calculer avec les données enregistrées par la Commission d'Aviation qui, aux termes de son règlement, se borna à constater que le kilomètre avait été franchi, et qu'il s'était écoulé 1 m. 28 s. depuis le passage à l'aller jusqu'au passage au retour entre les poteaux placés à l'entrée de la boucle. M. Louis Godard, Commissaire, qui se trouvait au fanion de virage, prit un croquis à l'estime de la trajectoire, puis la dessina à l'échelle ; la grande habitude qu'il a de l'estimation des distances aériennes donne une certaine valeur à ce document, qu'il a bien voulu me communiquer : j'ai mesuré la longueur parcourue et j'ai trouvé 1 190 m,

(1) *Aérophile*, 1er février 1908.

d'où une vitesse de 13,50 m environ, valeur que je prendrai comme vitesse propre (1). L'évaluation de la puissance motrice est encore plus incertaine, et l'on ne connaît pas le rapport $\frac{r}{\rho}$.

Quoi qu'il en soit, prenons les données :

$$\frac{P}{S} = 10 \quad \frac{\mathfrak{T}}{P} = \frac{38 \text{ ch}}{0{,}53 \text{ t}} = 71{,}7 \quad V = 13{,}50 \text{ m}.$$

Si les vols se sont faits à l'allure 1, l'abaque donne :

$$K\alpha_1 = 0{,}055, \quad \frac{\alpha_1}{K} = 0{,}183,$$

d'où : $$K = 0{,}548, \quad \alpha_1 = 0{,}1.$$

S'ils se sont faits à l'allure $\sqrt{3}$, ces nombres doivent être corrigés ainsi :

$$K = 0{,}365, \quad \alpha_1 = 0{,}087.$$

Les valeurs de K comprises entre 0,365 et 0,548, mais plus rapprochées de la première limite, cadrent très bien avec les valeurs calculées par le capitaine Lucas-Girardville pour les douze essais de l'aéroplane Wright sans moteur, à un seul biplan, valeurs qu'il trouva comprises entre 0,374 et 0,398.

Aéroplane Esnault-Pelterie. — Cherchons les caractéristiques d'un aéroplane de type tout différent, le premier monoplan de M. Esnault-Pelterie. Notre Collègue a bien voulu me fournir les données suivantes sur ses envolées, faites avec son moteur de 1907 : $P = 310$ kg, $S = 21$ m², $V = 65$ kilomètres-heure environ,

$$\mathfrak{T} = 24 \text{ HP environ.}$$

On en déduit :

$$\frac{P}{S} = 14{,}76, \qquad V = 18, \qquad \frac{\mathfrak{T}}{P} = \frac{24}{0{,}31} = 77{,}4.$$

(1) La distance entre les poteaux d'entrée et le fanion de virage était de 510 m. On voit donc que le virage ainsi que la courbe de raccordement qui le suit n'augmentent la distance rectiligne que de 17 0/0, alors qu'on a parlé d'un parcours de 1 600 m. C'était une exagération manifeste pour tous ceux à qui la mesure des trajectoires est familière. En admettant, pour un instant, que M. Farman ait fait l'aller en ligne droite jusqu'à 550 m, et le retour suivant une demi-circonférence, on obtiendrait 1 415 m seulement, et non 1 600 m.

Depuis lors, M. Farman a augmenté la vitesse de son aéroplane.

Si les envolées se sont faites à l'allure 1, l'abaque donne les résultats suivants :

$$K\alpha_1 = 0{,}045, \quad \frac{\alpha_1}{K} = 0{,}145,$$

d'où :

$$K = 0{,}557, \quad \alpha_1 = 0{,}081.$$

Si elles se sont faites à l'allure $\sqrt{3}$, ces nombres doivent être ainsi corrigés :

$$K = 0{,}371, \quad \alpha_1 = 0{,}07.$$

On trouve pour K des valeurs tout à fait comparables à celles de l'aéroplane Farman, mais α_1, qui caractérise la résistance à l'avancement, est 15 à 20 0/0 plus faible, suivant l'allure à laquelle correspondent les données ci-dessus. Ce résultat était à prévoir, car la résistance d'un aéroplane monoplan peu haubanné est évidemment moindre que celle d'un aéroplane à deux biplans, dont un cellulaire, avec de nombreux montants ou haubans.

Comme pour l'aéroplane Farman, j'ai supposé $\frac{r}{\rho} = \frac{1}{2}$.

Aéroplane W. Wright, du Mans. — En dépit des nombreuses envolées sensationnelles de cet aéroplane, il est très difficile d'avoir des renseignements exacts sur ses caractéristiques, et les suivantes, que j'ai contrôlées le mieux possible, sont données cependant sous toutes réserves.

La surface sustentatrice, avec le gouvernail de profondeur, serait de 55 m² environ, en tenant compte des arrondis. Le poids en ordre de marche, avec le pilote, serait de 470 kg, y compris les approvisionnements, d'où $\frac{P}{S} = 8{,}55$. Dans les vols avec le pilote seul, la vitesse propre paraît ressortir à 15 m; elle est encore plus difficile à apprécier que pour les aéroplanes à trajectoire plus rigide.

Le moteur, de 25 ch, a pu enlever deux hommes; mais il nous faut ici la puissance utilisée quand le pilote est seul. Si nous différencions l'équation en $\mathfrak{T}$, nous avons :

$$\frac{d\mathfrak{T}}{\mathfrak{T}} = \frac{3}{2}\frac{dP}{P}.$$

La puissance 25 HP correspond à $dP = 75$, $P = 470 + 75$ (1),

$$d\mathfrak{T} = \frac{3}{2} \cdot \frac{75}{545} \cdot 25 = 5,16.$$

Par suite, la puissance cherchée est $25 - 5,16 = 19,84$, d'où $\frac{\mathfrak{T}}{P} = \frac{19,84}{0,47} = 42,2$.

D'autre part, il convient de tenir compte de ce que le rendement des hélices est notoirement meilleur que dans les aéroplanes précédents. Je prendrai donc $\rho = 0,6$ au lieu de 0,5, de sorte que, pour se servir de l'abaque, il faut transposer $\frac{\mathfrak{T}}{P}$, et lui donner la valeur $42,2 \times \frac{6}{5} = 50,6$.

En résumé, les valeurs de $K\alpha_1$ et de $\frac{\alpha_1}{K}$ seront données par les alignements des points

$$\frac{P}{S} = 8,55 \qquad V = 15 \qquad \frac{\mathfrak{T}}{P} = 50,6.$$

Si les envolées se sont faites à l'allure 1, l'abaque donne les résultats suivants :

$$K\alpha_1 = 0,038 \qquad \frac{\alpha_1}{K} = 0,106,$$

d'où : $K = 0,6$ $\qquad \alpha_1 = 0,064$.

Si elles se sont faites à l'allure $\sqrt{3}$, ces résultats deviennent :

$$K = 0,4 \qquad \alpha_1 = 0,055.$$

Les valeurs de K sont meilleures que dans les aéroplanes précédents et que dans l'ancien aéroplane Wright sans moteur; nous verrons qu'en effet la voilure de l'aéroplane Wright du Mans est tout particulièrement soignée. De même, α_1 est beaucoup moindre que dans l'aéroplane Farman, ce qui s'explique par la plus faible résistance à l'avancement, résultant de l'absence du biplan arrière et de la carcasse qui le supporte, de l'absence du chariot de lancement, etc.

(1) Il a du reste été possible, par quelques modifications au système moteur-propulseur, d'augmenter le poids utile de plus de 75 kg.

Aéroplane Archdeacon. — Voici un essai intéressant en ce qu'il ne comporte aucune hypothèse sur le rendement global.

Il y a quelques années, M. E. Archdeacon expérimenta sur la Seine, à Billancourt, un aéroplane à deux biplans cellulaires. L'appareil était monté par un des frères Voisin, qui s'orientaient déjà vers la forme bien connue qu'ils donnèrent plus tard aux aéroplanes de MM. Farman et Delagrange. Il était placé sur deux bateaux assemblés, remorqués eux-mêmes par un moto-canot. Il s'enlevait dès qu'on atteignait, par rapport à l'air, une vitesse propre de 36 kilomètres-heure.

L'appareil monté pesait 300 kg, sa surface portante était de 50 m². Un dynamomètre enregistreur spécial, construit par M. Richard, donnait l'effort de traction, soit 60 kg en moyenne. Un anémomètre à indication instantanée permettait d'avoir la vitesse propre, qui fut en moyenne de 10 mètres-seconde. Le travail était donc de 8 ch environ.

Pour se servir de l'abaque, construit avec $\frac{r}{\rho} = \frac{1}{2}$, il faut prendre $\frac{\mathfrak{T}}{P} = \frac{2 \times 8}{0,3} = 53,33$, en supposant $r = 1$. On a, d'autre part, $\frac{P}{S} = 6$, $V = 10$. Si donc l'aéroplane avait l'inclinaison du minimum de traction, l'abaque donne :

$$K\alpha_1 = 0,06 \qquad \frac{\alpha_1}{K} = 0,168;$$

d'où: $$K = 0,6 \qquad \alpha_1 = 0,1.$$

S'il avait l'inclinaison du minimum de puissance, ces valeurs doivent être ainsi rectifiées :

$$K = 0,4 \qquad \alpha_1 = 0,087.$$

Il est très satisfaisant de constater que nous retrouvons exactement la même résistance à l'avancement que pour l'aéroplane Farman, également formé de deux biplans. Quant à K, il atteindrait les valeurs trouvées pour le *Wright* du Mans, ce qui n'est pas probable. Il convient d'ajouter que les mesures n'ont pas été

prises avec précision, principalement pour l'effort de traction, en raison des violents soubresauts du dynamomètre.

Cette méthode est intéressante, notamment en ce qu'elle élimine ρ, mais à la condition qu'on mesure l'effort de traction avec une suffisante exactitude; sinon les données du vol direct sont moins incertaines.

M. Archdeacon constata, non sans étonnement, écrit-il (1), que le travail à fournir était beaucoup plus grand avant le décollement de l'appareil au dessus de l'eau que dans le vol. Il attribua ce phénomène à ce que, les plans inférieurs étant assez près de l'eau, le courant d'air produit par la vitesse arrive difficilement à passer sous ces surfaces qui, jusqu'au décollement, ne font rien pour la sustentation. L'explication est ingénieuse. On peut aussi ajouter que, si le mode d'attache est judicieux, l'aéroplane prend une bonne orientation en plein vol, comme font les cerfs-volants; autrement dit, il lui faut, au décollement, une puissance correspondant à une allure a moins favorable que celle à laquelle il se fixe en plein vol. Cette dernière allure est vraisemblablement voisine de l'allure à puissance minimum.

En résumé, dans ces quatre exemples, nous obtenons des résultats assez concordants pour K, bien que les conditions soient très différentes : les voilures sont très dissemblables, et leur charge par mètre carré, de 6 kg dans l'aéroplane Archdeacon, de 8,55 kg dans l'aéroplane Wright, de 10 kg dans l'aéroplane Farman, s'élevait à 14,76 kg dans l'aéroplane Esnault-Pelterie.

On peut donc conclure *provisoirement* aux valeurs suivantes :

1° Les voilures actuelles ont un coefficient d'efficacité K compris entre 0,35 et 0,50 et probablement voisin de 0,4. Avec des profils très étudiés, on peut l'augmenter de 20 0/0 et plus;

2° Les aéroplanes à un biplan, nus comme le sont ceux des frères Wright, semblent avoir une résistance à l'avancement caractérisée par une valeur de α_1 comprise entre 0,06 et 0,07; les monoplans, avec chariot et roues pour l'essor, par une valeur de α_1 comprise entre 0,07 et 0,08; les aéroplanes à deux biplans, avec ces mêmes accessoires, par une valeur de α_1 comprise entre 0,09 et 0,1 ;

3° Le rapport $\frac{\sigma}{S}$ est compris entre 2 et 6 0/0.

(1) *La Vie automobile.*

Les mesures expérimentales que nous réclamons permettront de préciser ces résultats, et de reconnaître quelles sont les dispositions les plus favorables pour augmenter la sustentation et pour réduire la résistance, sous réserve de celles qu'imposent la stabilité, le départ de l'aéroplane par ses propres moyens, etc. : ainsi, la faible résistance à l'avancement des aéroplanes Wright est due, en partie, à l'absence d'empennage et de chariot de lancement ; les aviateurs français regardent ce dernier comme essentiel, surtout lorsque les aéroplanes ne se borneront plus à évoluer au dessus d'aérodromes où ne sauraient se cantonner bien longtemps des appareils impatients des larges espaces et des longues envolées. Toutefois, comme je l'indiquerai, le chariot exigera, lui aussi, un important supplément de puissance motrice avec des aéroplanes lourdement chargés.

Formules approchées.

Reprenons les trois formules du vol horizontal :

$$V = A_1 \sqrt{\frac{1}{\alpha_1} \frac{P}{KS}},$$

$$\frac{\Theta}{P} = 2rB_1\alpha_1,$$

$$\frac{\mathfrak{T}}{P} = \frac{2r}{\rho} C_1 \sqrt{\alpha_1 \frac{P}{KS}}.$$

La première, associée à l'une des deux autres, donne un système équivalent aux deux premières équations d'équilibre.

Aux coefficients ρ et r près, la vitesse d'équilibre et la puissance ne dépendent donc que de trois éléments :

1° le rapport $\frac{P}{KS}$, poids de l'aéroplane rapporté au mètre carré de la surface efficace;

2° le rapport $\alpha_1^2 = \frac{\varphi\sigma}{KS}$ de la surface résistante à la surface efficace sustentatrice ;

3° l'allure a, dont A_1 B_1 C_1 sont des fonctions.

On peut mettre ces expressions sous les formes simples :

$$\Theta = \beta P,$$

$$V = \gamma \sqrt{\frac{P}{S}},$$

$$\mathfrak{T} = \frac{\beta}{\rho} PV.$$

β est la pente de la glissade à la même allure, moteur éteint.

Or, en pratique, le champ des variations de V est assez peu étendu ; il y a donc lieu de penser que γ varie assez peu, et c'est ce que l'on constate, de même que pour β, en donnant à α_1 et à K les diverses valeurs trouvées ci-dessus pour chaque type d'aéroplane. En prenant une valeur moyenne, correspondant à une allure comprise entre 1 et $\sqrt{3}$, on obtient de la sorte les formules approchées suivantes :

Aéroplane Farman	*Aéroplane Esnault-Pelterie*	*Aéroplane Wright*
$\Theta = 0,2\ P,$	$\Theta = 0,165\ P,$	$\Theta = 0,12\ P,$
$V = 4,3 \sqrt{\frac{P}{S}},$	$V = 4,7 \sqrt{\frac{P}{S}},$	$V = 5,6 \sqrt{\frac{P}{S}},$
$\mathfrak{T} = 0,4\ PV.$	$\mathfrak{T} = 0,33\ PV.$	$\mathfrak{T} = 0,2\ PV.$

Θ est exprimé en kilogrammes, V en mètres par seconde, $\mathfrak{T}$ en kilogrammètres.

Bien entendu, une connaissance plus exacte des caractéristiques de l'aéroplane et de son vol, notamment de son allure de régime, et aussi du rendement, permettra aux auteurs futurs de préciser ces coefficients *très incertains aujourd'hui*, et d'en calculer de nouveaux pour les futurs types d'aéroplanes.

Discussion des Équations d'équilibre dans le Vol horizontal.

On peut aussi mettre les expressions de V et de $\mathfrak{T}$ sous les formes suivantes, où *l* et *m* sont des coefficients :

$$V = l\,A_1\,\sigma^{-\frac{1}{4}}\,(KS)^{-\frac{1}{4}}\,P^{\frac{1}{2}},$$

$$\mathfrak{T} = m\,C_1\,\sigma^{\frac{1}{4}}\,(KS)^{-\frac{3}{4}}\,P^{\frac{3}{2}}.$$

Elles dépendent de quatre paramètres *a*, σ, KS et P; je vais examiner rapidement l'influence de chacun d'eux en supposant les trois autres fixes. A la vérité, il arrive le plus souvent, ainsi que nous le constaterons, que la variation de l'un entraîne celle de quelques autres, et j'en tiendrai compte quand je décomposerai le poids total entre ses divers éléments constitutifs essentiels. Mais il suffit ici de s'en tenir à la variation d'un seul paramètre pour faire apparaître quelques propositions générales.

1° *Influence de* a. — Puisque *a* varie seul, l'aéroplane et sa charge sont déterminés. Le seul moyen de faire varier sa vitesse est de modifier l'allure à l'aide du gouvernail de profondeur.

V et $\mathfrak{T}$ varient comme les coefficients A_1 et C_1 donnés par la table IV, qui fournit une gamme d'inclinaisons assez étendue pour les besoins de la pratique. Le rapport entre $\mathfrak{T}$ et V est proportionnel aux nombres B_1 de la table; il passe par un minimum pour la vitesse V_1, et prend par conséquent des séries de valeurs égales pour deux vitesses de part et d'autre de V_1, telles que 0,71 V_1 et 1,41 V_1. *Dans ce cas, le travail n'est donc nullement proportionnel au cube de la vitesse.*

2° *Influence de* P. — Les trois paramètres autres que P étant fixes, il est facile de voir que les rapports $\frac{\mathfrak{T}}{V^3}$, $\frac{\mathfrak{T}^2}{P^3}$ sont constants.

L'augmentation du poids entraîne donc une augmentation parallèle de la vitesse d'équilibre, et le travail est alors proportionnel au cube de cette vitesse, comme pour les bateaux et pour les ballons dirigeables ayant des stabilisateurs s'opposant au tangage.

Ainsi, l'aéroplane Farman pesant 530 kg, avec son pilote, cherchons quelles sont l'augmentation de la vitesse et de la puissance pour qu'il emporte un second passager du poids de 75 kg, ainsi que l'ont fait M. Delagrange quand il prit M. Farman à son bord, puis M. Farman à Gand.

Soient :

V et $\mathfrak{G}$ la vitesse et la puissance avec $P = 530$ kg;

V' et $\mathfrak{G}'$ la vitesse et la puissance avec $P' = 605$ kg.

On a :
$$\left(\frac{\mathfrak{G}'}{\mathfrak{G}}\right)^2 = \left(\frac{605}{530}\right)^3,$$

d'où :
$$\mathfrak{G}' = 1,22\,\mathfrak{G},$$

et
$$\left(\frac{V'}{V}\right)^3 = \frac{\mathfrak{G}_1}{\mathfrak{G}} = 1,21,$$

d'où :
$$V' = 1,07\,V.$$

Ainsi, le moteur devra fournir un supplément de puissance de 21 0/0. Il portait un passager en donnant 38 ch; il devra donc en donner 46, à moins qu'il n'y ait modification de l'allure pour abaisser la puissance nécessaire. Mais si l'aéroplane voyageait dans le premier cas à une allure voisine de $\sqrt{3}$, il n'y a rien à gagner avec la modification d'allure.

D'une façon générale, on a :

$$\frac{d\mathfrak{G}}{\mathfrak{G}} = \frac{3}{2}\,\frac{dP}{P},$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{1}{2}\,\frac{dP}{P}.$$

Inversement, la variation relative de la charge totale est les deux tiers de celle de la puissance. Ainsi, un aéroplane dont le moteur ne peut fournir plus de 30 0/0 de la puissance qui correspond à son poids total normal pourra, à la même allure, emporter une surcharge d'au plus 20 0/0 de son poids total. Si la charge utile était, dans le premier cas, le cinquième du poids total, il pourra au plus doubler sa charge utile.

3° *Influence de* KS. — La modification de la surface efficace en plein vol est fréquemment réalisée par l'oiseau, qui la diminue notamment, en agissant à la fois sur S et sur K, de façon à augmenter sa vitesse sans que cette augmentation donne à la trajectoire une direction d'allure parabolique ascendante. Mais cette manœuvre exige un important supplément de travail musculaire, ainsi que je vais le montrer.

En effet, si KS est réduit de moitié, V est multiplié par $\sqrt[4]{2} = 1{,}19$, et $\mathfrak{T}$ par $\overline{1{,}19}^3 = 1{,}68$, car, dans ce cas, la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse. Donc, en chiffres ronds, pour augmenter sa vitesse de 20 0/0 par la diminution de KS, l'oiseau doit produire un supplément de travail de 70 0/0, ce qui l'amène à donner des battements plus énergiques et plus précipités : comme je le disais plus haut, c'est la fuite à tire-d'ailes, à laquelle il ne recourra guère que pour échapper à un danger. Encore ne peut-il augmenter sa vitesse normale que d'environ 50 0/0, ce qu'il ne fera que très exceptionnellement, car il doit alors plus que tripler son travail. Il est d'ailleurs vraisemblable que ces battements précipités accroissent la résistance à l'avancement, donc σ, ce qui augmente encore le travail et réduit la vitesse.

Le cas envisagé n'est pas réalisable avec les aéroplanes actuels, même avec ceux où l'on peut faire varier le gauchissement des ailes, comme c'est le cas pour les aéroplanes Wright et Esnault-Pelterie. Ce gauchissement a, d'ailleurs, un autre but, celui de remédier aux ruptures d'équilibre transversal et de faciliter les virages. En somme, il n'y a pas lieu, dans les aéroplanes-navires, de rechercher la variation de la vitesse par la modification de l'efficacité de la voilure, et il est préférable de construire les surfaces sustentatrices de façon à obtenir, en tout temps, le maximum d'efficacité dont elles sont susceptibles.

4° *Influence de* σ. — Toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse est inversement proportionnelle, et la puissance directement proportionnelle à $\sqrt[4]{\sigma}$. Ainsi, quand la résistance à l'avancement diminue de moitié, la puissance nécessaire à la sustentation est 1,19 fois plus petite, et l'aéroplane marche à une vitesse 1,19 plus grande. En chiffres ronds, la puissance est diminuée, et la vitesse augmentée de 20 0/0.

C'est un assez médiocre bénéfice, eu égard aux difficultés de construction qu'implique cette réduction. Mais c'est un béné-

fice double, portant sur deux caractéristiques capitales de tout appareil de transport. Il faut donc se garder de le négliger; tout au contraire, il est essentiel de s'appliquer à réduire les résistances au minimum, notamment en multipliant les formes fuselées.

Sur la mise en évidence des Poids constitutifs.

Cette discussion sommaire montre que l'examen de l'influence d'un paramètre, en supposant les autres fixes, est plutôt théorique. En réalité, sa variation ne va généralement pas sans entrainer celle de quelque autre. Ainsi, dans le troisième cas, la variation de la surface entraînera le plus souvent celle du poids et de la résistance à l'avancement; dans le deuxième cas, l'augmentation du poids total par l'accroissement de la charge peut amener à changer le moteur et à renforcer l'ossature de la surface, par suite à répartir cette augmentation entre la charge utile, le poids du moteur et l'aéroplane proprement dit : d'où la nécessité d'expliciter ces différents poids.

Il convient tout particulièrement d'évaluer le poids utile, car le poids total, le seul qui apparaisse jusqu'ici dans les formules, importe assez peu en lui-même, du moins tant qu'il ne suscite pas de trop grandes difficultés de construction. De même, quand nous avons recherché l'allure du minimum de puissance, c'était moins pour réduire le poids total que pour nous donner la possibilité d'emporter une charge utile plus forte.

Poids utile et vitesse, telles sont, en effet, les caractéristiques essentielles des aéroplanes-navires, comme de tous les appareils de transport. C'est donc surtout à leur détermination que je vais m'attacher.

J'emploierai les notations suivantes :

Π poids du système moteur propulseur (moteur, transmission, hélices), y compris tous les organes nécessaires au fonctionnement :

$$P - \Pi = \begin{cases} P_a + P_u, \\ P_s + P_v. \end{cases}$$

P_a poids de l'aéroplane proprement dit;

P_u poids utile (passagers, leur bagage, et la provision de combustible du moteur);

P_s poids des surfaces sustentatrices;

P_0 poids total, déduction faite des surfaces sustentatrices et du système moteur-propulseur.

Relation entre le poids moteur Π et le poids total P.

Toutes les recherches sur la décomposition des poids ont pour point de départ une relation théorique entre le poids moteur et le poids total, relation que je vais établir, en la mettant sous diverses formes qui peuvent être utiles dans les applications.

Appelons π le poids du système moteur-propulseur en kilogrammes par cheval. On a :

$$\Pi = \pi'(rP\alpha + \varphi\sigma V^2)V,$$

en posant :

$$\pi' = \frac{\pi}{75\rho}.$$

On en déduit :

$$P - \Pi = P(1 - r\pi'\alpha V) - \pi'\varphi\sigma V^3. \qquad [a]$$

D'autre part, si l'on remarque que :

$$P = KSV^2\alpha,$$

on en tire :

$$\Pi = APV, \qquad [b]$$

en posant :

$$A = \pi' r \frac{1 + a^2}{a}\alpha_1.$$

Remplaçons V en fonction de P :

$$\Pi = BP^{\frac{3}{2}}S^{-\frac{1}{2}}, \qquad [c]$$

en posant :

$$B = \frac{A}{(Ka\alpha_1)^{\frac{1}{2}}}.$$

Telle est la relation fondamentale entre Π et P, mise sous trois formes équivalentes [*a*], [*b*] et [*c*].

C'est une relation théorique, en ce sens que le poids Π, proportionnel à PV d'après la relation [*b*], varie avec les circonstances du vol. Or, en pratique, le poids *réel* Π_1 du moteur est fixe, pour un aéroplane déterminé : d'où une légère inexactitude, du même ordre que celles qu'offrent les problèmes de la Mécanique appliquée, pourvu toutefois que la marge entre la valeur réelle et la valeur théorique n'ait pas une trop grande valeur relative, c'est-à-dire que $\frac{\Pi_1 - \Pi}{\Pi}$ ne soit pas trop élevé. Je montrerai que, s'il n'en était pas ainsi, on arriverait facilement à des conséquences erronées dans les applications des formules à la pratique.

Maximum absolu du poids utile d'un Aéroplane donné.

La relation [*a*] peut s'écrire :

$$P_a + P_u = P(1 - r\pi'\alpha V) - \pi'\varphi\sigma V^3.$$

Considérons un aéroplane de poids déterminé P_a, et faisons varier son poids utile P_u en nous astreignant à maintenir sa vitesse V : il nous faudra donc modifier α, bien entendu dans les limites acceptables. La valeur de α qui rend P_u maximum est celle qui rend maximum le terme $P(1 - r\pi'\alpha V)$, lequel est proportionnel à $\alpha(1 - r\pi'\alpha V)$. Cette valeur est :

$$\alpha = \frac{1}{2r\pi' V},$$

et il en résulte :

$$P_a + P_u = \frac{KSV}{4r\pi'} - \pi'\varphi\sigma V^3.$$

Prenons successivement des valeurs V', V'', V'''... comme valeurs constantes de la vitesse. Pour chacune, il y a une allure donnant la charge maximum. De tous ces maxima, l'un est

maximum maximorum ; il correspond à la vitesse qui rend maximum le deuxième membre de la dernière formule, soit :

$$V = \frac{1}{2\pi r' \alpha_1 \sqrt{3}}.$$

On a alors : $$\alpha = \alpha_1 \sqrt{3},$$

$$P_a + P_u = \frac{KS}{12 r^2 \pi'^2 \alpha_1 \sqrt{3}}.$$

En remplaçant π' en fonction de π, on arrive à cette proposition :

Étant donné un aéroplane P_a, *il existe un maximum absolu de poids utile :*

$$P_u = 270{,}65 \left(\frac{\rho}{r}\right)^2 \frac{K}{\alpha_1} \frac{S}{\pi^2} - P_a.$$

Ce maximum s'obtient quand l'aéroplane marche à l'allure du minimum de puissance, et, en outre, à la vitesse :

$$V = 21{,}65 \frac{\rho}{r} \frac{1}{\alpha_1 \pi}.$$

Faisons une application de ces formules, pour voir à quels résultats elles conduisent.

En prenant $\frac{r}{\rho} = 2$, $\alpha_1 = 0{,}8$ et $K = 0{,}4$, valeurs moyennes d'après les résultats que j'ai déduits plus haut des expériences de vol de divers aéroplanes, nous trouvons, en chiffres arrondis :

$$V = \frac{130}{\pi},$$

$$P_u = \frac{340\ S}{\pi^2} - P_a.$$

V est inversement proportionnel à π. Avec les moteurs de 10 kg par cheval, auxquels on arrivait difficilement il y a quelques années encore, la vitesse correspondant au maximum absolu du poids utile eût été, dans ces conditions, 13 m/s : valeur modérée

tout à fait accessible. Mais le poids $\frac{340 \text{ S}}{\pi^2}$, inversement proportionnel à π^2, n'eût été supérieur à P_a que pour des voilures de surface S considérable. On voit donc clairement sur ces formules l'impossibilité de soulever un homme avec un poids par cheval de 10 kg.

Par contre, avec $\pi = 2$ kg, poids qu'on peut réaliser aujourd'hui, la vitesse du maximum devient 65 m/s, ou 234 km/h., avec $\text{P}_a + \text{P}_u = 4\,250$ kg. pour une voilure de 50 m². A de telles vitesses et avec de telles charges, les aéroplanes actuels se briseraient sous les efforts développés.

Ainsi donc, alors qu'il y a quelques années le poids des moteurs amenait infailliblement à un poids utile insignifiant, ou même négatif, le poids des moteurs dont nous disposons aujourd'hui permettrait aux formes d'aéroplanes imaginées d'enlever des charges importantes, si l'on donnait à ces aéroplanes une robustesse suffisante. On voit dès lors le très grand intérêt qu'il y a à employer des *matériaux donnant une très haute résistance sous un poids déterminé sans permettre à l'aéroplane de se déformer.*

Remarque. — Si, dans la relation [a] que j'ai prise comme point de départ, on remplace P — Π par $\text{P}_o + \text{P}_s$, et qu'on pose $\frac{\text{P}_s}{\text{S}} = p$, poids spécifique moyen des surfaces alaires, on trouve :

$$\frac{\text{K}}{12 r^2 \pi'^2 \alpha_1 \sqrt{3}} - \frac{\text{P}_o}{\text{S}} = p,$$

relation d'où l'on peut déduire l'aéroplane à surface minimum, soit qu'on prenne α_1 constant, soit qu'on remplace α_1 par sa valeur en S, et qu'on suppose alors σ constant.

C'est la valeur résultant de cette dernière hypothèse que M. l'Ingénieur en chef de la Marine Henry a prise comme base des aéroplanes qu'il a étudiés (1). Il fut ainsi conduit à des vitesses *systématiquement* très grandes, inconvénient qui serait beaucoup plus exagéré avec les moteurs actuels. Il convient, au contraire, de faire la théorie en prévoyant une gamme étendue de vitesses, suivant la capacité de chargement qu'on a en vue.

(1) *Étude du mouvement d'un aviateur-aéroplane*, Nantes, 1902.

Agrandissement géométrique d'un Aéroplane donné.

Puisque les aéroplanes actuels sont assez loin d'atteindre la capacité de chargement maximum que rend possible le poids des moteurs dont nous disposons, il est logique de rechercher comment ils doivent être modifiés pour bénéficier de cette situation.

La méthode la plus simple et la plus sûre pour déterminer un aéroplane susceptible d'enlever un poids utile donné, plus important que les chargements actuels, paraît consister à amplifier, suivant les règles de la similitude, un aéroplane qui a subi avec succès le contrôle de l'expérience. On a ainsi des familles où K et α_1 sont constants. Je supposerai que tous les aéroplanes d'une famille marchent à la même allure a, et que le poids π par cheval ne varie pas. En réalité, celui-ci s'abaisse avec la puissance ; le poids utile de l'aéroplane agrandi sera donc calculé plutôt un peu faible. Les valeurs prises pour K, α_1 et π sont, en quelque sorte, les caractéristiques techniques d'une époque.

Soient P, P_a, Π, P_u, les divers poids dans l'aéroplane originel; P', P'_a, Π', P'_u, les poids correspondants d'un aéroplane amplifié; x le rapport de similitude, z le rapport des poids utiles. On a d'ailleurs, par hypothèse, $P'_a = P_a x^3$. On obtiendra l'équation du problème en remplaçant P' et Π' par leur valeur en fonction de P, Π et x dans la relation :

$$zP_u = P' - \Pi' - P_a x^3.$$

Le problème est *indéterminé*, car on ne dispose que de la relation $\frac{\Pi'}{\Pi} = \left(\frac{P'}{P}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{x}$, qui résulte de [c], pour calculer P' et Π'.

Force est donc d'introduire une hypothèse, qui caractérisera la famille envisagée ; de telle sorte qu'on peut imaginer diverses familles. *Les résultats auxquels on parviendra n'auront donc qu'une valeur relative*, suivant la valeur même de l'hypothèse faite, *et ne pourront être envisagés isolément*, en dehors de la famille à laquelle ils se rapportent. Ils n'ont de valeur pratique qu'autant que la famille en a elle-même; dans le cas contraire, ils constituent une pure curiosité spéculative. On conçoit donc que la méthode n'est pas à l'abri de la critique, et je montrerai tout à l'heure quel est exactement son défaut. Elle est cependant inté-

ressante, pour les indications générales qu'elle donne, mais sous réserve de discussion.

Je n'examinerai que deux de ces familles; on pourrait en imaginer un plus grand nombre.

Famille $P' = Px^3$. — Si l'on admet que le poids total croisse comme x^3, on en déduit $P' = Px^3$, et $\Pi' = \Pi x^{\frac{7}{2}}$, d'où :

$$zP_u = (P - P_a)x^3 - \Pi x^{\frac{7}{2}},$$

qu'on peut écrire :

$$z = x^3 \left[1 - \left(x^{\frac{1}{2}} - 1\right) \frac{\Pi}{P_u}\right].$$

Si l'on donne à l'argument $\frac{\Pi}{P_u}$ une série de valeurs, on en déduit diverses courbes $z = f(x)$ dont l'ensemble constitue l'abaque général de famille. Chaque courbe donne un maximum de z : à chaque aéroplane originel caractérisé par le rapport $\frac{\Pi}{P_u}$ correspond donc un aéroplane d'agrandissement $x = X$ donnant le maximum de poids utile.

On a :
$$X^{\frac{1}{2}} = \frac{6}{7}\left(1 + \frac{P_u}{\Pi}\right).$$

La valeur correspondante Z de z est :

$$Z = \frac{1}{6} X^{\frac{7}{2}} \frac{\Pi}{P_u}.$$

Voici, pour quelques valeurs de l'argument, les coefficients par lesquels doivent être multipliés la vitesse et les poids des diverses parties de l'aéroplane originel pour obtenir les aéroplanes à maximum relatif de poids utile, dans la famille considérée :

$\frac{\Pi}{P_u}$	X	Coefficients de			
		V	P et P_a	Π	P_u
2	1,65	1,28	4,50	5,75	1,93
1,5	2,04	1,43	8,49	12,14	3,03
1	2,94	1,71	25,41	43,45	7,24
0,66	4,59	2,14	96,70	207,20	23,20

Avec une grande valeur de l'argument, à laquelle il fallait bien se résigner quand les moteurs pesaient 10 kg et plus par cheval, il était impossible d'obtenir une augmentation appréciable du poids utile en amplifiant un aéroplane. Et même, pour $\frac{\Pi}{P_u} > 6$, X est inférieur à 1, ce qui montre que, dans ce cas, *l'amplification eût, au contraire, réduit le poids utile. Cela explique combien étaient vaines autrefois les tentatives pour enlever un homme, en agrandissant des modèles réduits ayant plus ou moins bien fonctionné.*

Famille $\Pi' = \Pi x^3$. — Si l'on admet que le poids du moteur croisse comme x^3, on en déduit $\Pi' = \Pi x^3$, $P' = Px^{\frac{8}{3}}$, d'où :

$$zP_u = Px^{\frac{8}{3}} - (P_a + \Pi)x^3,$$

qu'on peut écrire :

$$z = x^3\left[1 - \left(1 - x^{-\frac{1}{3}}\right)\frac{P}{P_u}\right].$$

L'abaque général de cette deuxième famille, représenté à la page 126, montre clairement les variations de la charge utile pour une valeur de l'argument $\frac{P}{P_u}$. Ainsi, prenons le cas de $\frac{P}{P_u} = 4$; si nous suivons la courbe ayant cette cote, nous voyons de suite la correspondance entre les valeurs de x et de z, savoir :

x	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
z	1,32	1,58	1,72	1,68	1,41	0,85

z part de 1 pour $x = 1$; il croît d'abord jusqu'à la valeur 1,72, qu'il atteint pour X = 1,66, puis il décroît, et revient à la valeur 1 pour $x = 2,07$; il donne ensuite des charges utiles inférieures à celle de l'aéroplane originel.

La valeur de z passe par un maximum pour :

$$X^{-\frac{1}{3}} = \frac{9}{8}\left(1 - \frac{P_u}{P}\right),$$

et la valeur correspondante de z est :

$$Z = \frac{1}{9} X^{\frac{8}{3}} \frac{P}{P_u}.$$

Sur l'abaque ci-contre, le lieu des poids utiles maxima est tracé en traits interrompus.

Voici, pour quelques valeurs de l'argument $\frac{P}{P_u}$, les coefficients par lesquels doivent être multipliés la vitesse et les poids de l'aéroplane originel pour obtenir les aéroplanes à maximum de poids utile, dans la nouvelle famille :

$\frac{P}{P_u}$	X	Coefficients de V	P	P_a et II	P_u
—	—	—	—	—	—
6	1,21	1,06	1,66	1,77	1,12
5	1,37	1,11	2,31	2,57	1,28
4	1,66	1,18	3,85	4,57	1,72
3	2,37	1,33	9,98	13,31	3,36
2	5,62	1,78	100	177,50	22,19

Cette famille, qui existe quelle que soit l'allure, est la même que celle trouvée, d'une façon toute différente, par M. le capitaine Lucas Girardville, dans le cas de l'inclinaison optimum (1). L'exposé qui précède montre qu'elle est un cas particulier d'une conception générale.

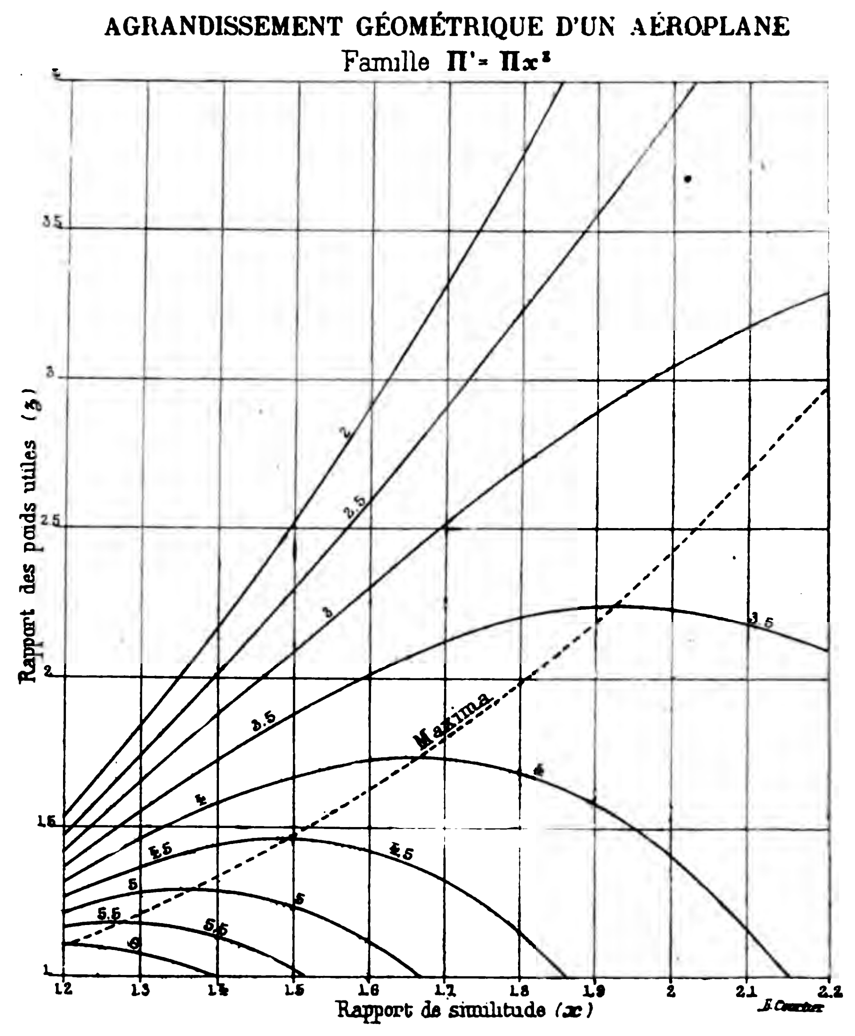
Pour un même agrandissement X, les valeurs de Z sont moins fortes que dans la famille $P' = Px^3$. Il est vrai que le poids total est accru dans une proportion moindre. On voit donc que la méthode ne donne que des résultats *relatifs*, ainsi que je l'ai annoncé.

Quoi qu'il en soit, la deuxième famille conduit à des conclusions analogues à celles que nous avons obtenues avec la première. Ainsi, on trouve facilement $X < 1$ pour $\frac{P}{P_u} > 9$, et l'on s'explique encore l'impossibilité où étaient les aviateurs, il y a une dizaine d'années, d'obtenir des résultats satisfaisants en construisant « plus grand ». En effet, un alourdissement de 2 kg seulement par cheval d'un moteur de 40 ch diminue le poids

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 avril 1908.

AGRANDISSEMENT GÉOMÉTRIQUE D'UN AÉROPLANE

Famille $\Pi' = \Pi x^2$



disponible de 80 kg, et amène facilement l'argument à une valeur supérieure à 9, à partir de laquelle il n'aurait servi de rien de chercher à augmenter le poids utile en amplifiant les dimensions.

On saisit ainsi sur le vif, pour ainsi dire, l'importance capitale de l'allègement du moteur, importance plus profonde encore qu'on ne l'imagine d'ordinaire.

En tenant momentanément pour exactes les formules ci-dessus, voyons à quel poids utile maximum on serait conduit, en partant des données fournies par des aéroplanes ayant fait leurs preuves, comme ceux que les frères Voisin ont construits pour MM. Farman et Delagrange.

Dans ces aéroplanes, on a sensiblement $\frac{P}{P_u} = 6$. On arriverait à un supplément maximum de 12 0/0 pour la charge utile, en augmentant les dimensions linéaires du cinquième. Si donc ces lois étaient absolues, on en conclurait, comme a fait M. Girardville, qu'il serait impossible de construire des aéroplanes ayant une capacité de chargement de 300 kg, en partant des aéroplanes Voisin tels qu'ils sont actuellement : pour ce faire, il faudrait commencer par réduire le rapport $\frac{P}{P_u}$, grâce à des améliorations méthodiques des diverses parties. Tout en recommandant vivement ces améliorations, j'arrive à une conclusion plus optimiste, et cela pour deux raisons.

La première est que, en portant une charge égale au sixième du poids total, l'aéroplane actuel n'utilise qu'une partie, 38 ch environ, de la puissance de son moteur. L'expérience, parfaitement d'accord avec la théorie, a prouvé qu'il peut emporter 75 kg de plus. Puisqu'il s'agit d'évaluer la charge maximum, il convient de prendre l'argument $\frac{P}{P_u} = 4$ qu'il réalise alors : les formules de la deuxième famille montrent qu'avec une amplification linéaire des deux tiers, la nouvelle charge utile serait augmentée de 72 0/0, ce qui conduit à 280 kg. Ceci justifie la remarque que j'ai faite précédemment sur le poids réel du moteur, qui est invariable, et le poids théorique Π introduit dans les calculs, qui varie avec les circonstances du vol. On ne peut raisonner avec quelque exactitude (et sous les réserves que la

méthode comporte), qu'autant que la marge entre ces deux poids n'a pas une trop grande valeur relative.

La deuxième raison, tout à fait capitale, est que les lois précédentes n'ont rien d'absolu. Si nous suivons celles qui régissent la croissance des poids dans la première famille, et si nous remarquons que les premiers aéroplanes Voisin sans cloisonnement de MM. Farman et Delagrange donnent $\frac{\Pi}{P_u} = 1,5$ environ, nous constatons qu'il serait possible, d'après ces lois, de tripler la charge en doublant les dimensions linéaires. Les résultats donnés par la deuxième famille sont d'ailleurs moins hypothétiques, parce que ses lois d'accroissement font travailler les matériaux d'une façon moins excessive, puisque les vitesses croissent moins rapidement que dans la première famille, pour une même valeur de x. Et ceci nous montre qu'il y a lieu de tenir compte de la *vitesse* dans la détermination des aéroplanes agrandis, ce que ne fait pas la méthode précédente. C'est là son vice fondamental, et, dans les deux tableaux donnés ci-dessus, il convient de ne plus admettre les résultats dès que les nombres inscrits dans la colonne V dépassent 1,5 : alors, en effet, les voilures agrandies se déformeraient et pourraient même se briser sous la pression que comportent les nouvelles vitesses, et les haubans seraient trop faibles pour les nouvelles charges.

Agrandissement d'un Aéroplane donné, eu égard aux règles de la Résistance des matériaux.

Il faut donc agrandir l'aéroplane en tenant compte du rapport y entre la vitesse de l'aéroplane amplifié et celle de l'aéroplane originel. Je continuerai à prendre des aéroplanes géométriquement semblables, *comme formes*, ce qui donne à toutes les voilures sensiblement le même coefficient d'efficacité K ; mais les épaisseurs des pièces qui constituent la voilure, le diamètre des haubans, etc., ne croitront plus comme x, et seront calculés d'après les règles de la Résistance des matériaux, de façon à pouvoir supporter les nouvelles forces en jeu (1).

Alors, comme il le faut bien, *le problème n'est plus indéterminé*, car les différentes parties de l'aéroplane peuvent se calculer

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juillet 1908.

en fonction de x et de y; on a donc des expressions de P', Π', P'_a qu'il suffit de substituer dans la relation :

$$zP_u = P' - \Pi' - P'_a$$

pour obtenir l'équation :

$$z = f(xy)$$

du problème. Il sera commode de représenter cette fonction par une série de courbes de niveau $x = \lambda$; on obtiendra ainsi un abaque qui indiquera nettement : 1° les diverses solutions (x, y) qui donnent un poids utile déterminé ; 2° les maxima relatifs du poids utile correspondant à des agrandissements λ ; 3° le maximum maximorum du poids utile.

Le calcul des efforts qu'auront à supporter les différents organes dépend du mode de construction de la famille d'aéroplanes. C'est une question d'espèce, qui ne peut être complètement traitée ici.

Soit, pour fixer les idées, une voilure ayant pour armature (*fig. 15*) une pièce A″B″ à l'avant, et des lattes A, *a*, *b*, B... plus ou moins entretoisées, et de sections appropriées; les unes, *a*, *b*, servent seulement à donner une certaine rigidité ; les autres, A, B..., que j'appellerai maîtresses lattes, sont soumises à des efforts de flexion, en raison de la traction qu'exercent les haubans qui s'y attachent en A, A′, A″..., et de la pression, répartie uniformément ou non, qui leur est transmise par la voilure, sur laquelle l'air exerce une poussée dont la composante normale est égale à P.

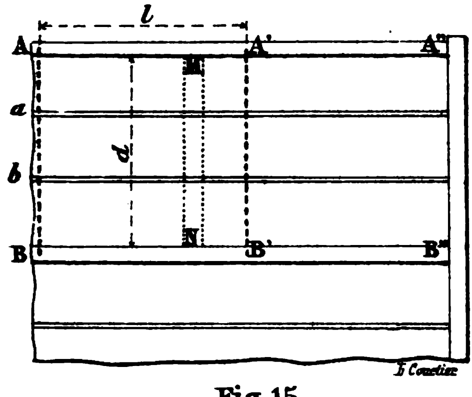


Fig.15

La bande MN peut être considérée comme une plaque encastrée en M et N. Elle supporte une pression uniformément répartie, proportionnelle à $\frac{P}{S}$, le coefficient de proportionnalité variant suivant l'éloignement de la bande au bord A″B″, ce qui peut conduire à lui donner une épaisseur variable suivant cet éloi-

gnement. Quoi qu'il en soit, si d est la distance entre les maitresses lattes, les épaisseurs de la voilure et des lattes a, b..., doivent être proportionnelles à $d\sqrt{\frac{P}{S}}$, c'est-à-dire à $\sqrt{P}$. Quant aux épaisseurs à donner aux sections des maitresses lattes, considérons la portion de longueur l comprise entre deux attaches consécutives A et A′ des haubans. La traction de ceux-ci est une fraction de la charge totale P, et la totalité de la charge répartie sur la maitresse latte, transmise par la voilure, est proportionnelle à $dl\,\frac{P}{S}$, c'est-à-dire à P. Ses sections $b \times h$, quelle que soit leur forme, doivent donc être telles que $b\,h^2$ soit proportionnel à Pl : par suite, les épaisseurs h sont encore proportionnelles à $\sqrt{P}$.

Pour les haubans, les diamètres doivent être proportionnels à la racine carrée de leur charge, et, par suite, leurs sections proportionnelles à la charge.

Je vais appliquer ces principes à un cas simple, en admettant : 1° que la surface σ du disque équivalent croisse comme S, hypothèse qui est sensiblement exacte ; 2° qu'au lieu de calculer isolément chacune des pièces travaillant à la traction, on calculera l'ensemble de leurs sections en exprimant qu'il est proportionnel à P. D'après la formule $P = KSV^2\alpha$, on a $P' = Px^2y^2$. Décomposons le poids P_a de l'aéroplane originel en A, poids des pièces travaillant à la flexion, et B, poids des pièces travaillant à la traction ; soient A′ et B′ les valeurs correspondantes pour l'aéroplane amplifié ; on a donc $\frac{A'}{A} = x^2\sqrt{\frac{P'}{P}}$, d'où : $A' = Ax^3y$; $\frac{B'}{B} = x\frac{P'}{P}$, d'où : $B' = Bx^3y^2$. Quant au poids du moteur, comme il est proportionnel à PV, on a : $\frac{\Pi'}{\Pi} = \frac{P'V'}{PV}$, d'où : $\Pi' = \Pi x^2y^3$. L'équation du problème est donc :

$$zP_u = Px^2y^2 - \Pi x^2y^3 - Ax^2y - Bx^3y^2.$$

On la représentera par un abaque formé de cubiques de cotes $x = \lambda$; chaque cubique donne, en général, un maximum relatif correspondant à une certaine vitesse.

Posons :

$$\frac{P}{\Pi} = m, \qquad \frac{A}{B} = n.$$

Le maximum absolu du poids utile a lieu pour :

$$y = 0{,}2m - 0{,}7n + \sqrt{(0{,}2m - 0{,}7n)^2 + 0{,}8mn},$$

$$x = \frac{\Pi}{B} \frac{2m - 3y}{2y + n} y.$$

Applications. — 1° Comme nous l'avons vu, les aéroplanes actuels de MM. Voisin sont susceptibles d'enlever deux passagers, à la vitesse de 50 km à l'heure environ, quand le moteur développe 50 ch. Partant de ces données, je prendrai, en kilogrammes :

$$P = 600, \quad \Pi = 100, \quad A = 250, \quad B = 100, \quad P_u = 150.$$

On a $m = 6$, $n = 2{,}5$, et l'aéroplane à poids utile maximum maximorum correspond à :

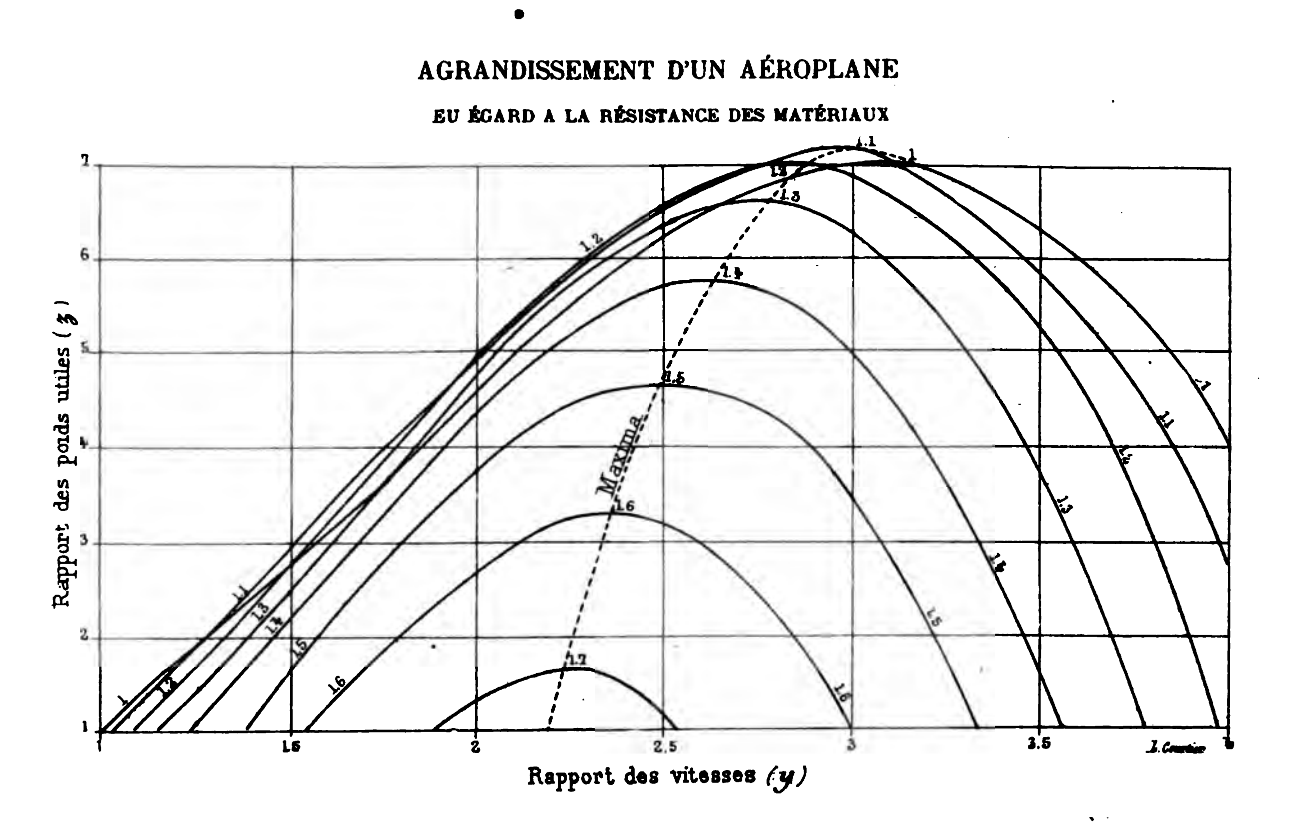
$$y = 2{,}96, \qquad x = 1{,}1.$$

L'abaque ci-contre donne la représentation de cette famille. Les dimensions de l'aéroplane originel sont donc très sensiblement celles qui procurent le poids utile maximum maximorum. Au delà de $x = 1{,}75$, le poids utile serait inférieur à 150 kg, valeur initiale. Il faut donc surtout renforcer l'aéroplane, de façon à tripler la vitesse, ce qui donne un poids utile sept fois plus grand. On a alors, dans le cas du maximum maximorum :

$$P' = 6\,360, \qquad \Pi' = 3\,140, \qquad P'_a = 2\,150,$$

d'où : $$P'_u = 1\,070 \text{ kg}.$$

En pratique, si l'on ne veut pas exagérer la vitesse, il pourra convenir de ne pas pousser jusqu'au maximum de charge utile, en profitant de la propriété des fonctions de varier assez peu


AGRANDISSEMENT D'UN AÉROPLANE
EU ÉGARD A LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX
Maxima
Rapport des poids utiles (z)
Rapport des vitesses (y)
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
1
2
3
4
5
6
7
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7

dans le voisinage de leur maximum. Si l'on prend $y = 2{,}5$, $x = 1{,}1$, on a :

$$P' = 4\,540, \qquad \Pi' = 1\,890, \qquad P'_a = 1\,665,$$

d'où : $$P'_u = 985 \text{ kg.}$$

On obtient une charge utile assez peu différente de la charge maximum maximorum, avec des poids beaucoup plus réduits et une vitesse de 125 km à l'heure au lieu de 148.

2° Avec un aéroplane du type Esnault-Pelterie 1908, tout différent du précédent, nous admettrons :

$$P = 350, \quad \Pi = 50, \quad A = 175, \quad B = 50, \quad P'_u = 75.$$

On a : $$m = 7, \qquad n = 3{,}5,$$

et l'aéroplane à poids utile maximum maximorum est donné par :

$$y = 3{,}5, \qquad x = 1{,}166.$$

L'aéroplane originel a donc encore très sensiblement les dimensions donnant le maximum de poids utile.

Si l'on prend :

$$y = 3, \qquad x = 1{,}15,$$

on a :

$$P' = 4\,160, \qquad \Pi' = 1\,780, \qquad P'_a = 1\,480,$$

d'où : $$P'_u = 900 \text{ kg.}$$

Les divers poids ci-dessus, calculés simplement à titre d'indication, nécessiteraient l'emploi d'autres matériaux que dans l'aéroplane originel, ce qui amènerait probablement des modifications dans la construction. Il conviendra donc de faire ultérieurement de nouveaux calculs en partant des aéroplanes qui auront été créés dans le but cherché et qui auront donné de bons résultats; et ainsi de suite.

Quoi qu'il en soit, il résulte de cette étude que, lorsqu'on voudra emporter des charges notables, il faudra recourir *moins à l'amplification des aéroplanes actuels qu'à leur renforcement*, en vue de

les armer progressivement pour des vitesses croissantes, qui pourront être utilement triples des vitesses actuelles.

Si l'on ne veut pas atteindre de telles vitesses, qui ne seront pas sans sujétions, il faudra augmenter le nombre des voilures. Dans cet ordre d'idées, on peut prévoir dès maintenant la prochaine substitution des triplans aux biplans actuels, pour augmenter le poids utile avec des vitesses relativement modérées.

De là deux voies différentes pour réaliser les aéroplanes à grande capacité de chargement.

Au contraire, pour les charges modérées, les monoplans, quand ils seront dotés d'une stabilité meilleure, constitueront un type excellent, qui a toutes mes préférences, à cause de sa moindre résistance à l'avancement.

L'aéroplane de l'avenir ne sera donc pas d'un type déterminé. En raison même de sa *sensibilité en hauteur*, on sera amené à créer divers types suivant les applications qu'on aura en vue, et notamment suivant la valeur de ces deux caractéristiques essentielles de tout appareil de transport : la vitesse et le poids utile.

Familles d'Aéroplanes a Poids minimum du moteur.

Reprenons l'expression [b] et posons, avec le colonel Vallier (1) :

$$P_0 = \Pi x.$$

Dans la relation : $P = P_0 + \Pi + P_s$,

remplaçons les poids en fonction de V ; nous obtenons l'équation du troisième degré :

$$\frac{1}{V^3} - \frac{KS\alpha}{P_s}\frac{1}{V} + A(1 + x)\frac{KS\alpha}{P_s} = 0.$$

1° Considérons une famille d'aéroplanes ayant les mêmes valeurs de P_0, K et A ; ils ne diffèrent donc que par la voilure et le moteur, ceux-ci ayant du reste mêmes poids spécifiques

(1) *Revue de Mécanique*, 1904-1905.

$p = \frac{P_s}{S}$ et π dans tous les aéroplanes imaginés. Puisque P_o est constant, le minimum de Π a lieu pour le maximum de x. Or, la condition de réalité des racines de l'équation du troisième degré est :

$$(1 + x)^2 < \frac{4}{27A^2} \frac{KS\alpha}{P_s}.$$

Le maximum de x a lieu quand les deux membres de cette inégalité deviennent égaux. Alors $\frac{1}{V}$ est racine double de l'équation du troisième degré, ce qui donne :

$$V^2 = \frac{3P_s}{KS\alpha}.$$

On en conclut :

$$P = 3P_s.$$

Ce résultat est indépendant de toute hypothèse sur la valeur de α. Par suite : *Dans la famille considérée, où les aéroplanes ne diffèrent que par le moteur et la voilure, ceux-ci ayant d'ailleurs mêmes poids spécifiques, l'aéroplane à poids minimum de moteur, quelle que soit l'allure, est celui dans lequel le poids de la voilure est le tiers du poids total.*

Cette curieuse proposition résulte de l'étude du colonel Vallier, quand on y considère des aéroplanes marchant sous l'inclinaison du minimum de puissance. J'établis qu'elle est générale, c'est-à-dire qu'elle est vraie pour toutes les allures.

La valeur de x est alors donnée par la relation :

$$1 + x = \frac{2}{3AV}.$$

Or chaque aéroplane, envisagé isolément, demande le minimum de puissance motrice pour l'allure $\sqrt{3}$. Si donc on fait marcher à cette allure tous les aéroplanes de la famille, la puissance nécessaire pour l'aéroplane où $P = 3P_s$ est un minimum minimorum. On le vérifie en remarquant que $1 + x$ est proportionnel à $\frac{a\sqrt{a}}{1 + a^2}$; x est donc maximum maximorum pour l'allure qui annule la dérivée de $\frac{a\sqrt{a}}{1 + a^2}$, soit pour $a = \sqrt{3}$.

2° Considérons maintenant une famille d'aéroplanes qui diffère de la précédente en ce que, au lieu de donner à toutes les voilures le même poids spécifique p, on profite de la différence des pressions qu'elles ont à supporter pour proportionner les épaisseurs des parties constitutives de ces voilures à l'effort normal du courant aérien. On peut poser alors :

$$p = p_0\sqrt{\frac{P}{S}} = p_0 \, V \sqrt{K\alpha}.$$

L'équation du troisième degré s'abaisse au deuxième et devient :

$$\frac{1}{V^2} - \frac{\sqrt{K\alpha}}{p_0}\frac{1}{V} + A\frac{\sqrt{K\alpha}}{p_0}(1 + x) = 0.$$

La condition de réalité des racines est :

$$1 + x < \frac{\sqrt{K\alpha}}{4p_0 A}.$$

Le maximum de x a lieu quand les deux membres de cette inégalité deviennent égaux. Alors $\frac{1}{V}$ est racine double, ce qui donne :

$$V = \frac{2p_0}{\sqrt{K\alpha}}.$$

Dans la valeur de P_s :

$$P_s = p_0 S V \sqrt{K\alpha},$$

remplaçons p_0 en fonction de V :

$$P_s = \frac{KSV^2\alpha}{2}.$$

d'où :

$$P = 2P_s.$$

Dans la nouvelle famille considérée, où les aéroplanes ne diffèrent que par le moteur et la voilure, les moteurs ayant même poids par cheval et les voilures un poids spécifique proportionnel à la racine carrée de l'ef-

fort, l'aéroplane à poids minimum de moteur, quelle que soit l'allure, est celui dans lequel le poids de la voilure est la moitié du poids total.

Cette proposition résulte également de l'étude du colonel Vallier, pour le cas de l'allure $\sqrt{3}$; elle est établie ici d'une façon générale.

La valeur de x est donnée par la relation :

$$1 + x = \frac{\sqrt{K\alpha}}{4p_0 A} = \frac{1}{2AV},$$

qui est maximum maximorum pour $a = \sqrt{3}$. Donc, dans la famille considérée, le poids du moteur est minimum minimorum pour l'aéroplane ayant $P = 2P_s$ et marchant à l'allure $\sqrt{3}$.

Si ces résultats étaient absolus, les deux propositions ci-dessus offriraient un intérêt considérable. Mais *ils ne sont que relatifs à la comparaison des aéroplanes dans les familles qui viennent d'être définies*, et cela est fort heureux, car cet élément essentiel, la charge utile, y est complètement sacrifié. Aussi n'offrent-ils qu'un intérêt pratique médiocre, et je m'y suis surtout arrêté pour définir le sens et la portée des deux propositions ci-dessus.

Stabilité des Ballons dirigeables et Stabilité des Aéroplanes.

La directrice étant la ligne de proue à poupe pour les dirigeables, et une parallèle à l'arbre de l'hélice pour les aéroplanes, supposons qu'une action extérieure lui donne une déviation θ. Celle-ci peut être considérée comme la résultante d'une déviation θ' dans le plan vertical qui contenait primitivement le plan de symétrie du navire, et d'une déviation latérale θ''.

Dans ses études très remarquées sur la stabilité des ballons dirigeables (1), M. le lieutenant du génie Crocco définit excellemment la stabilité la tendance à ne pas amplifier au delà de toute limite l'angle de déviation θ produit par une cause extérieure. Il démontre que deux conditions $\Delta' > 0$, $\Delta'' > 0$,

(1) *Sur la stabilité des dirigeables*, Note à l'Académie dei Lincei, novembre 1904, et à l'Académie des Sciences, décembre 1904.
Étude sur la dynamique des ballons dirigeables, Bolletino della Societa aeronautica italiana, 1907.



provenant d'une fonction Δ de même forme, mais à coefficients différents, permettent séparément à θ' et à θ'' de satisfaire à cette définition ; ces angles tendent alors, par oscillations, vers une certaine limite, qui est zéro pour le premier, et qui est généralement différente de zéro pour le second. Il appelle *stabilité d'altitude* la propriété qu'a θ' de tendre vers zéro, et *stabilité de route* la propriété qu'a θ'' de tendre vers une valeur finie. Comme l'une et l'autre intéressent la trajectoire, je préfère appeler la première *stabilité verticale de route*, et la seconde *stabilité horizontale de route*, leur ensemble constituant la *stabilité de route.*

La stabilité verticale de route réalise la *stabilité longitudinale* du navire aérien, en raison de ce qu'il est lié d'une façon rigide à la directrice.

Pour les ballons dirigeables, il n'y a pas lieu de considérer d'autre stabilité que la stabilité de route dans les deux sens indiqués. Aussi le nom de *degré de stabilité* donné par M. Crocco aux deux valeurs de la fonction Δ est-il parfaitement topique pour cette classe de navires aériens.

Mais, pour les aéroplanes, il est indispensable de considérer en outre la *stabilité latérale propre* de l'aéroplane, qui est la propriété d'après laquelle l'appareil, dévié à droite ou à gauche par la rotation autour d'une droite de son plan de symétrie, revient à sa position d'équilibre, ou tout au moins tend vers une inclinaison non compromettante. Par ailleurs, les conditions de stabilité de route pour les aéroplanes sont tout à fait différentes de la double condition, de forme $\Delta > 0$, obtenue par M. Crocco pour les dirigeables.

La stabilité peut être réalisée : 1° statiquement et automatiquement, par certaines relations de grandeur et de position entre les éléments constitutifs de l'aéroplane, qui conservent leurs positions relatives; 2° dynamiquement, par l'intervention soit du pilote, soit d'appareils mécaniques automatiques.

Témoins des manœuvres de l'oiseau voilier, qui semble réaliser la stabilité automatique sans effort, les aviateurs ont pu croire qu'une judicieuse disposition des organes suffisait à assurer la stabilité de grands aéroplanes. Leur démonstration est la suivante :

1° Si l'aéroplane est déversé dans le sens longitudinal, le centre de pression s'écarte ou se rapproche du bord d'attaque, suivant que l'inclinaison α sur le courant augmente ou diminue ; il vient par exemple de C en C' *(fig. 16)*. Le centre de gravité, restant à la même position par rapport à l'aéroplane, vient de G

en G′. Dans la première position, où l'appareil est en équilibre, le couple P,F (qu'on supposait nul dans les anciennes théories), est moindre que le couple F′, F′ donné par les forces P′, F′; ce couple ramène donc A′B′ à sa position première, de façon à maintenir α constant. Cela n'est vrai que si F′ ne prend pas une valeur trop faible, c'est-à-dire si l'inclinaison reste suffisamment éloignée, dans les oscillations, des valeurs 0 et 90 degrés où F = 0. La valeur 0 est la plus difficile à éviter, et c'est pourquoi il faut de l'empennage horizontal, ou tout autre moyen propre à faire apparaître un mouvement antagoniste assez fort pour empêcher le centre de pression de passer trop en avant du centre de gravité.

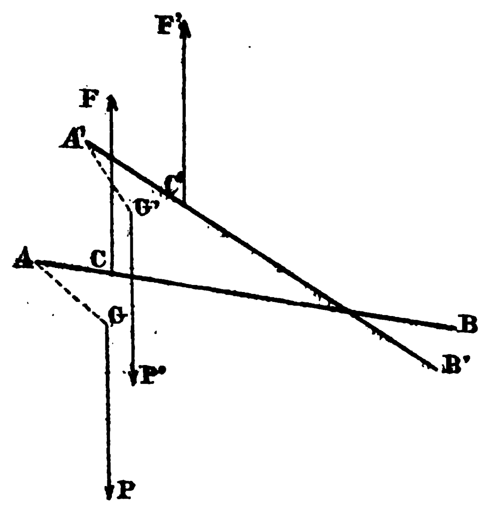


Fig. 16

2° Si l'aéroplane est déversé latéralement, il suffit, pensait-on, que la voilure forme un dièdre ouvert, à arête dirigée vers le bas, comme sont les ailes des grands voiliers, pour que le côté qui s'abaisse reçoive une pression plus grande que l'autre, qui se dérobe au courant, ce qui ramène l'aéroplane à sa position normale. La forme en dièdre a bien l'avantage d'augmenter la stabilité, en abaissant le centre de gravité; mais elle n'est excellente que pour assurer la stabilité latérale dans les chutes, — que les oiseaux peuvent se permettre, mais que les aéroplanes-navires doivent éviter; en somme, elle est peu efficace sur une trajectoire d'équilibre. Il faut encore moins compter sur la résistance

directe donnée par la vitesse de rotation, qui crée un supplément de vitesse insignifiant sur l'aile qui s'abaisse. Il n'est pas douteux que l'oiseau utilise, non pas la résistance produite par cette vitesse de rotation, mais sa vitesse propre, beaucoup plus importante, soit en la combinant avec la vitesse de rotation, comme il sera expliqué plus loin, soit directement en gauchissant les ailes.

Il est impossible d'analyser les questions de stabilité avec tant soit peu de précision sans recourir au calcul différentiel. A ceux qui douteraient de l'intérêt que peut offrir une telle analyse, j'opposerai les résultats *pratiques* obtenus par les calculs du lieutenant Crocco sur la stabilité des dirigeables. Ils ont conduit ce savant officier à formuler pour l'empennage des règles de construction qui se sont substituées à celles du colonel Renard, dont la célèbre méthode expérimentale dite du *tunnel* ne tenait pas compte de toutes les particularités du phénomène.

L'étude mathématique de la stabilité des aéroplanes a été abordée par quelques rares auteurs. MM. G. Bryan et W. Williams se sont occupés de la stabilité longitudinale (1). Plus récemment, M. le capitaine Ferber a publié une étude où il envisage le cas général de la stabilité automatique (2) ; ce travail, d'une virtuosité très réelle, mais compliquée, ne distingue pas les surfaces sustentatrices des surfaces ayant pour mission de donner le mouvement antagoniste, telles que l'empennage ; cette distinction me paraît essentielle. Il convient même, pour écrire l'équation générale du tangage, d'expliciter la surface du gouvernail de profondeur, afin de tenir compte de son action éventuelle, ainsi qu'a fait M. Crocco pour les gouvernails des ballons dirigeables.

Stabilité longitudinale automatique en air assez calme.

J'étudierai seulement le cas où le moment antagoniste est donné par l'empennage. Il nous faut maintenant, dans le problème de la stabilité, rapporter les trois équations du mouvement à deux axes rectangulaires fixes OX, OZ. Toutefois, si nous exprimons $\frac{d^2X}{dt^2}$,

(1) *The longitudinal stability of aerial gliders*, Proceedings of the Royal Society, juin 1903.

(2) *Les Progrès de l'aviation par le vol plané*, 1907.

$\frac{d^2Z}{dt^2}$ en fonction de la vitesse, nous pouvons prendre des axes de direction fixe passant par le centre de gravité, par exemple l'horizontale Gx et la verticale Gz (*fig. 17*).

Considérons, pour fixer les idées, un aéroplane dont la vitesse de régime correspond au vol horizontal; autrement dit l'angle γ

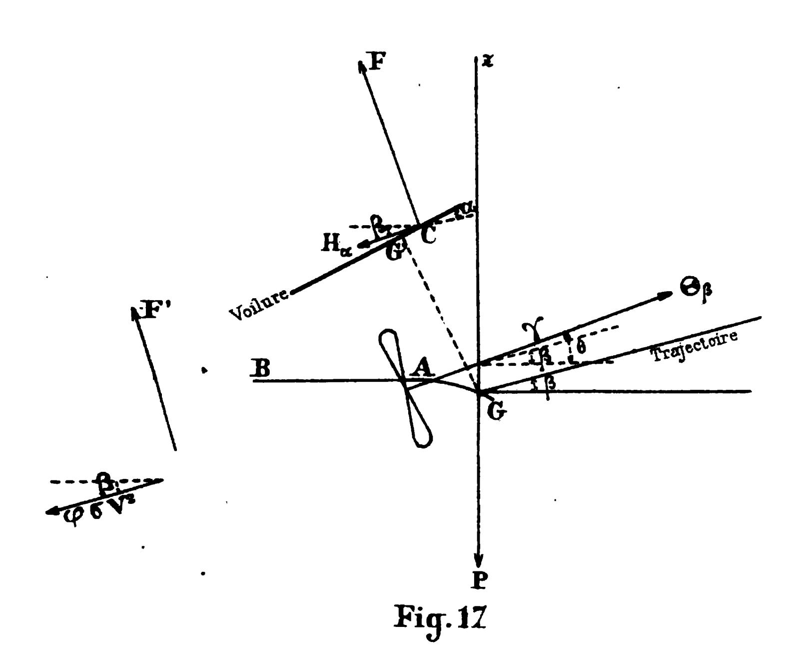


Fig. 17

de l'empennage est nul pour $\beta = 0$. Si une *faible perturbation* lui fait perdre son équilibre dans le sens longitudinal, la directrice tourne d'un angle θ, et forme avec la nouvelle trajectoire un angle γ qui fait apparaître la force d'empennage. Les trois équations du mouvement sont alors, en désignant par x, z les coordonnées du centre de pression C :

$$\left.\begin{aligned} \frac{P}{g}\frac{dV}{dt} &= \Theta_\beta - F\beta - H_\alpha - F'\beta - \varphi\sigma V^2, \\ \frac{P}{g}\frac{dV\beta}{dt} &= \Theta_\beta\theta + F - H_\alpha\beta + F' - \varphi\sigma V^2\beta - P, \\ I\frac{d^2\theta}{dt^2} &= (F - H_\alpha\beta)x + (F\beta + H_\alpha)z + F'L'. \end{aligned}\right\} \quad [A]$$

L'aéroplane devant être *bon planeur*, le couple de la force $\Theta_\beta - \varphi\sigma V^2$ est négligeable, comme on l'a vu, devant ceux des autres forces.

Évaluons x, z. La perpendiculaire GG′ à la voilure a tourné du même angle θ que la directrice, et comme elle faisait d'abord avec la verticale l'angle α_0, elle fait maintenant avec elle l'angle $\alpha_0 + \theta$. Projetons le contour GG′C sur les axes de coordonnées; on a, en posant toujours $GG' = h$, $G'C = l - m\alpha$:

$$x = - h(\alpha_0 + \theta) + l - m\alpha,$$

$$z = h + (l - m\alpha)(\alpha_0 + \theta),$$

Soient $x_0\,z_0$ les coordonnées du centre de pression en vol horizontal :

$$x_0 = - h\alpha_0 + l - m\alpha,$$

$$z_0 = h + l\alpha_0 - m\alpha_0^2.$$

En remarquant que $\alpha - \alpha_0 = \gamma$, *s'il n'y a pas eu manœuvre du gouvernail de profondeur depuis la rupture d'équilibre*, on peut écrire :

$$x = x_0 - h\theta - m\gamma,$$

$$z = z_0 + l\theta - m\alpha_0\gamma - m\alpha\theta.$$

Puisque l'aéroplane était en équilibre pour $\beta = 0$, la troisième équation du mouvement donne :

$$0 = Fx_0 + H_\alpha z_0,$$

d'où

$$x_0 + \alpha_0 z_0 = 0,$$

en supposant $r = 1$, ce que je ferai dans toute cette théorie de la stabilité, afin de simplifier les équations, déjà compliquées.

Remplaçons dans cette dernière équation x_0 et z_0 par leurs valeurs; nous retrouvons la relation obtenue dans la théorie de l'équilibre :

$$l = m\alpha_0.$$

Les valeurs de x_0 et z_0 se simplifient et deviennent :

$$x_0 = -h\alpha_0,$$

$$z_0 = h,$$

d'où :

$$-x = h(\alpha_0 + \theta) + m\gamma,$$

$$z = h - m\gamma(\alpha_0 + \theta),$$

valeurs à substituer dans l'expression de $I\frac{d^2\theta}{dt^2}$.

Quand les éléments V, α, β, θ, γ prennent des accroissements δV, $\delta\alpha$, $\delta\beta$, $\delta\theta$, $\delta\gamma$, la directrice tourne de $\delta\theta = \delta\beta + \delta\gamma$; d'autre part, puisque le gouvernail de profondeur n'est pas intervenu, $\alpha - \gamma$ reste constant, comme je l'ai montré dans la théorie de l'équilibre; par suite, $\delta\alpha = \delta\gamma$. Il n'y a donc que trois accroissements indépendants. Les équations différentielles du mouvement fournissent entre eux trois relations :

$$\left.\begin{aligned} \frac{P}{g}\frac{d}{dt}\delta V &= f_1(\delta V, \delta\theta, \delta\gamma) \\ \frac{P}{g}\frac{d}{dt}[\beta\delta V + V(\delta\theta - \delta\gamma)] &= f_2(\delta V, \delta\theta, \delta\gamma) \\ I\frac{d^2\theta}{dt^2} &= f_3(\delta V, \delta\theta, \delta\gamma) \end{aligned}\right\} \quad [B]$$

Ces préliminaires étant posés, considérons l'aéroplane en équilibre sur sa trajectoire horizontale BA. Son équilibre se rompt en un point A, et, au bout du temps dt pendant lequel le centre de gravité effectue un parcours curviligne AG, les éléments initiaux sont devenus :

$$V = V_0 + \delta V,$$

$$\alpha = \alpha_0 + \delta\gamma,$$

$$\beta = 0 + \delta\theta - \delta\gamma,$$

$$\theta = 0 + \delta\theta,$$

$$\gamma = 0 + \delta\gamma.$$

Si l'on substitue dans le système [A], qu'on tienne compte des équations d'équilibre et qu'on néglige les carrés et les produits d'accroissements, on a les mêmes équations $F(\delta V, \delta\theta, \delta\gamma, V_0, \alpha_0) = 0$ que si l'on introduit les conditions initiales dans le système [B]. De cette dernière façon, on obtient aisément, en supprimant l'indice 0, devenu inutile :

$$\left.\begin{aligned} \frac{P}{g}\frac{d}{dt}\delta V &= -2CV\delta V - P\delta\theta - P\delta\gamma, \\ \frac{P}{g}\frac{d}{dt}(\delta\theta - \delta\gamma) &= 2KS\alpha\delta V + AV\delta\gamma, \\ I\frac{d^2}{dt^2}\delta\theta &= Ph\alpha^2\delta\theta - (\beta V^2 + Ph\alpha^2)\delta\gamma, \end{aligned}\right\} \quad [C]$$

où l'on pose :

$$A = KS + K'S',$$

$$B = KSl + K'S'L',$$

$$C = \varphi\sigma + KS\alpha^2.$$

Remarquons, dès maintenant, que C peut s'écrire, d'après la relation connue $\frac{\varphi\sigma}{KS} = \alpha_1^2$:

$$C = KS\,(\alpha_1^2 + \alpha^2) = KS\alpha^2(1 + \frac{1}{a^2}),$$

a étant l'allure de l'aéroplane. On voit que C est négligeable devant A.

Posons, suivant la méthode classique,

$$\delta V = A_V e^{xt},$$

$$\delta\theta = A_\theta e^{xt},$$

$$\delta\gamma = A_\gamma e^{xt},$$

et cherchons à quelles conditions ce système est solution des équations différentielles [C]. La substitution donne trois équations linéaires, homogènes en A_V, A_θ, A_γ, et le déterminant, égalé à zéro, qui exprime qu'elles forment un système, donne une

équation en x, appelée caractéristique, dont les racines fourniront les valeurs de x à substituer dans les expressions de δV, $\delta\theta$, $\delta\gamma$. Les conditions nécessaires et suffisantes pour que ces expressions soient limitées et s'éteignent rapidement sont que les racines réelles, ainsi que les parties réelles des racines imaginaires de l'équation en x, soient négatives.

Alors l'aéroplane prendra un mouvement de bascule ou de tangage, qui introduit un couple résistant, élément caractéristique et essentiel de la dynamique des navires aériens. L'action de ce couple, qui a échappé aux considérations du colonel Renard sur les dirigeables et du capitaine Ferber sur les aéroplanes, a été mise en évidence dans la remarquable étude du lieutenant Crocco sur les dirigeables. « Dans ce cas, écrit-il, l'aérostat oscille comme un pendule dans un milieu résistant; et l'action principale du *milieu* est précisément d'éteindre plus ou moins rapidement les oscillations. » Entre autres résultats importants, le savant officier italien a calculé que la surface d'empennage indiquée par Renard est réduite de plus de moitié, du fait de ce couple. Je montrerai qu'il exerce aussi une influence favorable sur la stabilité des aéroplanes.

Mieux encore pour les aéroplanes que pour les dirigeables, le couple résistant peut s'écrire sous la forme que lui a donnée M. Crocco :

$$C_r V \frac{d\theta}{dt},$$

C_r étant un coefficient qui dépend des surfaces et de leur éloignement à l'axe de rotation GY, perpendiculaire au plan des XZ. C'est ce que nous verrons en étudiant plus spécialement ce genre de couple au chapitre relatif à la stabilité latérale.

La troisième équation différentielle du système [C] doit s'écrire alors :

$$I\frac{d^2}{dt^2}\delta\theta + C_r V\frac{d}{dt}\delta\theta - Ph\alpha^2\delta\theta + (BV^2 + Ph\alpha^2)\delta\gamma = 0.$$

Si l'on avait fait intervenir le gouvernail de profondeur depuis la rupture d'équilibre, il aurait donné un moment $K_1S_1\lambda V^2\xi$, K_1S_1 étant la surface efficace du gouvernail, λ la distance de son centre de pression à G, et ξ l'angle dont la manœuvre du volant (ou du levier) a fait tourner le gouvernail. Il faudrait alors mettre cette valeur dans le second membre de l'équation ci-dessus.

J'ouvre ici une parenthèse pour comparer cette équation avec l'équation du tangage des dirigeables due au lieutenant Crocco.

Comme $\delta\theta = \theta$, $\delta\gamma = \gamma$, on peut l'écrire :

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} + C_r V\frac{d\theta}{dt} - Ph\alpha^2\theta + BV^2\gamma = K_1 S_1 \lambda V^2 \xi,$$

en tenant compte de l'action éventuelle du gouvernail.

L'équation donnée par le lieutenant Crocco est :

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} + C_r V\frac{d\theta}{dt} + Ph\theta - CV^2\gamma = K_1 S_1 \lambda V^2 \xi.$$

L'interversion du signe du terme en $V^2\gamma$ tient à ce que la force de déversement du ballon proprement dit, qui est prépondérante, agit vers l'extrémité de la proue. Quant au terme $Ph\theta$, on le retrouverait avec l'aéroplane si l'on supposait le centre de pression fixe, comme il arrive pour le point d'application de la poussée du ballon ; il disparaît avec le recul de ce point. Par contre, la résistance $H_0 = KSV^2\alpha^2$ fait apparaître le terme $- Ph\alpha^2\theta$, généralement négligeable devant les autres ; toutefois, il y aura lieu de le conserver dans le terme en x de l'équation caractéristique, car il donne une condition de stabilité, d'ailleurs toujours satisfaite en pratique (1).

M. Crocco a poursuivi ses calculs en se plaçant dans l'hypothèse $\delta V = 0$, ce qui les simplifie beaucoup et conduit, quand on exprime γ en fonction de θ, à une équation différentielle du troisième ordre en θ, au lieu du quatrième. Dans le cas des dirigeables, cette simplification est assez justifiée, car les variations relatives de la vitesse, lors d'une rupture d'équilibre, sont généralement beaucoup moindres que les variations relatives des angles. On pourrait être tenté de l'introduire dans les calculs de stabilité des aéroplanes. Il faut s'en garder, car ceux-ci ne sont plus des appareils à sustentation indépendante de la vitesse ; on ne peut plus supposer à la vitesse une valeur généralement quelconque, et l'hypothèse $\delta V = 0$ est inadmissible ; elle conduirait à conclure qu'il ne peut y avoir de stabilité longitudinale automatique pour les aéroplanes, ce qui n'est pas.

Cette différence essentielle se manifeste encore en ce que les

(1) On peut aussi remarquer que le couple (P, F = P) qui tend à redresser les dirigeables, est proportionnel à P, tandis que, dans l'aéroplane, les forces P, $F = KSV^2\alpha$ donnent un couple (F, F) qui s'annule avec α.

vitesses d'équilibre forment une gamme peu étendue autour de la vitesse de régime, gamme qui nécessite l'intervention du gouvernail de profondeur. Au contraire, la gamme des vitesses d'un dirigeable s'étend de zéro à la vitesse critique, qui n'existe pas pour les aéroplanes.

Fermons ici la parenthèse et revenons aux équations différentielles. Leur caractéristique est l'équation algébrique :

$$\begin{vmatrix} \frac{P}{g}x + 2CV & P & P \\ 2KS\alpha & -\frac{P}{g}x & \frac{P}{g}x + AV \\ 0 & Ix^2 + C_rVx - Phx^2 & BV^2 + Ph\alpha^2 \end{vmatrix} = 0.$$

En développant ce déterminant, et en remarquant que certains termes sont négligeables, on a :

$$\frac{P^2}{g^2}Ix^4 + \left(\frac{P}{g}C_r + AI\right)\frac{P}{g}Vx^3 + \left(\frac{P^2}{g^2}B + \frac{P}{g}AC_r + 2DI\right)V^2x^2$$
$$+ \left[\frac{P}{g}(2BC - AhKS\alpha^3) + 2DC_r\right]V^3x + 2BP^2 = 0,$$

en posant :

$$D = AC - (KS\alpha)^2.$$

Pour que la caractéristique de cette équation ait des racines de la nature cherchée, il faut et il suffit, comme le remarque M. Ferber, que tous ses coefficients $A_0A_1A_2A_3A_4$, ainsi que la quantité $A_1A_2A_3 - A_0A_3^2 - A_4A_1^2$ soient de même signe. Ici, ces conditions se réduisent à deux :

$$A_3 > 0,$$

$$A_1A_2A_3 > A_0A_3^2 + A_4A_1^2.$$

Examinons la première, soit :

$$2DC_r + 2\frac{P}{g}BC > \frac{P}{g}AhKS\alpha^3.$$

Comme annoncé, le coefficient C_r du couple résistant facilite cette condition. A défaut de ce couple, il suffirait qu'on eût :

$$2BC > AhKS\alpha^3,$$

d'où

$$2(KSl + K'S'L')\left(1 + \frac{1}{a^2}\right) > h\alpha(KS + K'S'),$$

$$h < 2\left(1 + \frac{1}{a^2}\right)\frac{KSl + K'S'L'}{\alpha(KS + K'S')},$$

$$h < 0,6\left(1 + \frac{1}{a^2}\right)L\left(1 + \frac{K'S'L'}{KSl}\right),$$

L étant la largeur de la voilure.

S'il n'y a aucun empennage, cette relation donne :

$$h < 1,2\ L \text{ pour l'allure } 1,$$

$$h < 0,8\ L \text{ pour l'allure } \sqrt{3}.$$

Ainsi, il pourrait être dangereux de mettre le centre de gravité trop au dessous de la voilure, avec un aéroplane sans empennage, si le coefficient C_r, que nous avons négligé, ne permettait en réalité de donner à h des valeurs plus grandes que 0,8 L.

D'ailleurs, dès qu'il y a empennage, $\frac{K'S'L'}{KSl}$ est généralement très supérieur à 1 et la limite supérieure de h est alors assez grande pour ne gêner en rien les constructeurs.

Quoi qu'il en soit, il n'y a aucun intérêt à s'astreindre à mettre le centre de gravité très bas. Cela n'est, en aucune façon, une condition de stabilité, comme l'a très justement observé M. Ferber, et j'ajoute qu'un aéroplane ainsi construit ne serait généralement pas bon planeur quand le moteur serait éteint. D'autre part, M. Drzewiecki a depuis longtemps remarqué qu'un trop grand éloignement entre le centre de gravité et le centre de pression aurait pour effet de produire un mouvement pendulaire exagéré. « On peut, a-t-il écrit (1), observer un phénomène de ce genre sur un oiseau dont les pattes, blessées par un coup de

(1) *Les oiseaux considérés comme des aéroplanes animés*, 1889.

fusil, pendraient au dessous du corps de l'oiseau et abaisseraient son centre de gravité. »

Si l'on suppose $C_r = 0$, la deuxième équation d'équilibre sera également satisfaite *a fortiori* pour $C_r \neq 0$. On arrive alors, après réductions, à la condition :

$$\frac{P^2}{g^2 I} > \frac{A}{BC}(KS\alpha)^2.$$

Pour des aéroplanes sans empennage, elle se réduit à :

$$\frac{P^2 m}{g^2 IKS} > \frac{1}{\alpha\left(1 + \frac{1}{a^2}\right)}.$$

Avec la valeur $\alpha = 0{,}1$, le deuxième membre est égal à 5 pour l'allure 1 et à 7,5 pour l'allure $\sqrt{3}$ (1).

Au surplus, ce cas de non-empennage est beaucoup moins intéressant que le cas habituel d'un aéroplane suffisamment empenné (ou muni d'autres surfaces qu'une queue pour limiter les oscillations) : et c'est pour celui-ci que la condition ci-dessus revêt son véritable caractère. Le terme KSl est alors négligeable devant $K'S'L'$, et la condition devient, en posant $\frac{K'S'}{KS} = \varepsilon$:

$$\frac{P^2 L'}{g^2 IKS} > \frac{1 + \frac{1}{\varepsilon}}{1 + \frac{1}{a^2}}.$$

Avec $\alpha = 0{,}1$ et une surface d'empennage égale au quart de la voilure, le deuxième membre prend, pour $a = 1$ et $a = \sqrt{3}$, des valeurs égales à la moitié de celles obtenues dans le cas du non-empennage, tandis que dans le premier membre L' est substitué à m, c'est-à-dire à 0,3 L. Il en résulte qu'on peut donner à I une bien plus grande valeur. En effet, P et KS sont fixés par la destination de l'aéroplane; I doit donc être inférieur

(1) On a évidemment la même inégalité quand l'empennage n'est pas explicité. M. le capitaine Ferber trouve pour $\frac{P^2 m}{g^2 IKS}$ une valeur beaucoup plus faible que les nôtres, soit 1,6 au lieu de 5 et 7,5. Cela provient d'une erreur faite, me semble-t-il, dans l'évaluation des quantités qu'il désigne par $X_s Y_s Z_s$ (page 18 de sa brochure), erreur qui altère les coefficients de l'équation caractéristique.

à une certaine limite beaucoup plus grande avec l'empennage. Or, il est très important de pouvoir doter l'aéroplane d'un moment d'inertie I assez grand pour que les oscillations longitudinales, produites par une rupture d'équilibre, soient lentes.

Au fond, le véritable caractère de cette condition de stabilité est de donner une relation entre l'empattement massique, mesuré par I, et l'empattement superficiel, mesuré par K'S'L'. En effet, écrivons-la, en négligeant KSl devant K'S'L' :

$$K'S'L' > \frac{1+\varepsilon}{1+\frac{1}{a^2}}\left(\frac{g}{P}KS\right)^2 I.$$

Prenons 1 pour valeur moyenne de $\frac{1+\varepsilon}{1+\frac{1}{a^2}}$ (on obtient $\frac{15}{16}$ avec $\varepsilon = \frac{1}{4}$ et $a = \sqrt{3}$). Nous avons alors la condition simple :

$$\frac{\text{Empattement superficiel}}{\text{Empattement massique}} > \left(\frac{\text{Surface de la voilure}}{\text{Masse de l'aéroplane}}\right)^2.$$

Par surface de la voilure, j'entends ici la surface efficace KS.

Si l'on veut obtenir des oscillations très lentes, ce qui déterminera I, cette condition pourra conduire à donner à K'S'L' une valeur plus élevée que celle trouvée, dans la théorie de l'équilibre, pour que le déversement γ reste de l'ordre de grandeur de l'angle d'attaque α. La directrice n'aura alors aucun déplacement longitudinal appréciable.

Remarque. — Dans l'équation caractéristique, si l'on néglige K'S' devant KS, on a :

$$D = K^2S^2(\alpha_1^2 + \alpha^2) - K^2S^2\alpha^2 = (KS\alpha_1)^2.$$

Ce coefficient est très faible pour des aéroplanes ayant une résistance à l'avancement telle que α_1 ne dépasse pas 0,1. De plus, si le centre de gravité est à petite distance du centre de pression, le terme en h est négligeable. On obtient ainsi pour l'équation caractéristique :

$$MIx^4 + (MC_r + AI)Vx^3 + (AC_r + MB)V^2x^2 + 2BCV^3x + 2gBP = 0.$$

En posant :

$$MC_r + AI = \Gamma,$$

$$AC_r + MB = \Delta,$$

la forme approchée de l'équation différentielle qui règle le tangage de l'aéroplane prend la forme suivante :

$$MI\frac{d^4\theta}{dt^4} + \Gamma V\frac{d^3\theta}{dt^3} + \Delta V^2\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2BCV^3\frac{d\theta}{dt} + 2gBP\theta = C^{te}.$$

C'est une équation du quatrième ordre, au lieu de l'équation du troisième ordre, de forme analogue, obtenue par le lieutenant Crocco pour le tangage du dirigeable :

$$MI\frac{d^3\theta}{dt^3} + \Gamma V\frac{d^2\theta}{dt^2} + (\Delta V^2 + MPh)\frac{d\theta}{dt} + APhV\theta = C^{te}.$$

Dans cette dernière équation, le coefficient Δ, qui mesure le degré de stabilité du dirigeable, a, comme je l'ai expliqué, son terme MB négatif.

La comparaison des deux équations montre les analogies et les différences entre les conditions de stabilité longitudinale et le tangage des aéroplanes et des ballons. On voit par ces équations différentielles que, pour les unes et pour les autres, la période d'oscillation diminue avec I.

Discussion de l'exactitude de ces résultats. — Dans la théorie qui précède, j'ai supposé que la perturbation dans l'équilibre provoque sa rupture dans le sens longitudinal, autrement dit que la nouvelle direction de la vitesse ne sort pas de ce plan et que l'aéroplane ne s'incline pas transversalement. Mais il est bien évident que les perturbations réelles ne se prêtent pas à cette simplification, qui sera l'exception et non la règle. J'ai donc le devoir d'indiquer maintenant les modifications apportées quand la vitesse sort du plan de symétrie, et que l'aéroplane vient à s'incliner transversalement.

1° Étudions d'abord la modification introduite par le fait que V sort du plan de symétrie, celui-ci restant vertical.

Soit *(fig. 18)* un rectangle plan P, de surface efficace KS, et dont le centre O se déplace suivant la droite OA située dans le plan de symétrie Q, qui lui est perpendiculaire le long de sa médiane

$m\,n$. La pression CN est normale à P, s'exerce en un point C de $m\,n$, et est de la forme $KSV^2\alpha$, α étant l'angle, supposé petit, de OA avec P. Si le déplacement a lieu suivant OA′, située en dehors de Q, et faisant avec P le même angle α, la pression est encore normale au plan, mais elle s'exerce en un point C′ en dehors de $m\,n$, et sa valeur est $\lambda KSV^2\alpha$, car les filets fluides sont altérés par la nouvelle orientation du rectangle sur la direction de la vitesse.

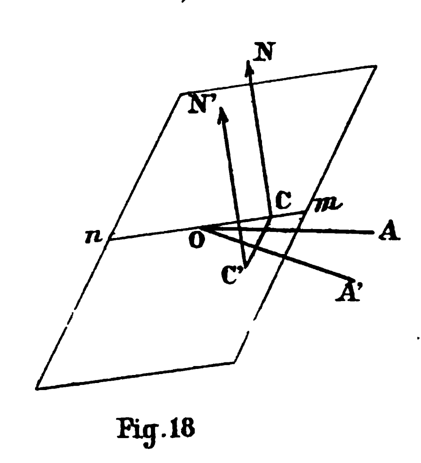


Fig. 18

Cela posé, considérons une perturbation qui dévie V en le faisant sortir du plan de symétrie de l'aéroplane. Appelons encore α et γ les angles de V avec la voilure et la surface d'empennage. Nous devrons remplacer KS par λKS et $K'S'$ par $\lambda' K'S'$ dans les trois équations différentielles (A) du mouvement desquelles nous sommes partis. En désignant par φ l'angle de la projection de la vitesse avec $m\,n$, λ et λ' sont des fonctions de φ, mais qui commencent par varier très lentement avec cet angle, de sorte qu'on peut prendre $\delta\lambda$ et $\delta\lambda'$ proportionnels à $\varphi\delta\varphi$. Quand, poursuivant la méthode, nous prendrons les différentielles des équations (A), nous en déduirons donc trois équations $f(\delta V, \delta\theta, \delta\gamma, \varphi\delta\varphi) = 0$. Substituons maintenant les conditions initiales que nous avons prises, auxquelles sont venues s'adjoindre $\lambda = 1$, $\lambda' = 1$, $\varphi = 0$: l'accroissement $\delta\varphi$, étant toujours accolé au coefficient φ, disparaîtra, et nous retrouverons identiquement les trois équations qui ont déterminé la caractéristique.

Quant au déplacement du centre de pression de la voilure en dehors du plan de symétrie, il ne modifie pas les équations de la stabilité longitudinale, mais seulement celles de la stabilité transversale.

On voit donc que les conditions de stabilité longitudinale ne sont pas altérées par l'inclinaison qu'une faible perturbation donnerait à V sur le plan de symétrie, pourvu que celui-ci reste vertical.

2° Mais s'il vient à s'incliner, autrement dit si la perturbation vient à faire pencher l'aéroplane à droite ou à gauche, les équa-

tions différentielles dont nous sommes partis ne sont plus les mêmes.

On peut admettre alors, avec une suffisante approximation, que les coordonnées du centre de pression par rapport au plan de symétrie sont $OC = l - m\alpha$, comme dans le cas de $\varphi = 0$, et une longueur CC′ perpendiculaire à ce plan. Tout le nœud de la question est dans l'expression de CC′. Si l'on connaissait cette expression, on pourrait aborder l'étude du cas général. C'est, au fond, ce qu'a fait M. le capitaine Ferber en prenant $CC' = 0$; dans les six équations du mouvement, les conditions de la stabilité longitudinale et celles de la stabilité latérale se trouvent alors dissociées, les premières étant données par les équations de rang impair, les secondes par celles de rang pair. On arriverait évidemment au même résultat en supposant que CC′ est proportionnel à φ^2. Mais ni l'une ni l'autre de ces lois ne sont exactes, et, en l'absence d'indications expérimentales, je prendrais plus volontiers CC′ proportionnel à φ, pour de faibles valeurs de cette dérive.

Avec les lois $CC' = 0$ ou $CC' = m'\varphi^2$, on n'obtient, pour la stabilité longitudinale, aucune autre condition que celles que nous avons trouvées, et, dès lors, il me paraît inutile de développer les calculs assez compliqués du cas général, d'autant que ces deux lois sont sujettes à caution. Quant aux conditions qu'on trouverait pour la stabilité latérale, je leur attribue peu de valeur, même dans l'hypothèse initiale de petites perturbations, en raison de l'incertitude de la loi de variation de CC′, qui joue ici un rôle important.

Pour conclure en ce qui concerne la stabilité longitudinale, on peut seulement dire, en l'état actuel de nos connaissances, que les conditions obtenues sont nécessaires, et paraissent suffisantes, pour la stabilité longitudinale automatique sous l'action de faibles perturbations. Il est possible d'assurer *statiquement* cette stabilité en réglant convenablement le rapport entre l'empattement superficiel et l'empattement massique dans le sens longitudinal. Les oscillations seront lentes et de faible amplitude si le centre de gravité n'est pas à trop grande distance du centre de pression, et si l'on a évité de concentrer les masses ; il convient toutefois de n'éloigner du centre de gravité que les charges non sujettes à varier. Les aéroplanes raisonnablement chargés à la fois en proue et en poupe sont particulièrement stables, et ont une heureuse paresse à prendre des oscillations, mais ils doivent

être plus fortement empennés. Les formes fines des ailes et, sous certaines conditions, des carènes des aéroplanes contribuent, par ailleurs, à assurer la stabilité par l'écoulement régulier de l'air, par la création d'une proue fluide, et surtout d'une sorte de lit, à l'avant du navire lit sur lequel celui-ci vient glisser.

Stabilité latérale de Route. Empennage vertical.

J'ai dit que toute déviation θ de la directrice peut être considérée comme la résultante d'une déviation θ' dans le plan vertical qui contenait primitivement le plan de symétrie, et d'une déviation latérale θ''. Nous venons d'étudier les conditions pour que θ' tende vers une limite, qui est zéro. Il nous resterait donc seulement à étudier la déviation θ'', et à chercher les conditions pour qu'elle tende vers une limite finie, si la stabilité horizontale de route résolvait complètement le problème de la stabilité latérale, ainsi qu'il arrive pour les ballons dirigeables.

Mais le problème est beaucoup plus complexe avec les aéroplanes; en effet, les navires aériens de ce genre peuvent en outre pencher vers la droite ou vers la gauche, de telle sorte que leur plan de symétrie fasse un angle ω avec sa position verticale primitive. Il est de la plus haute importance de limiter cette inclinaison, et de faire en sorte que, par une série d'oscillations allant en s'amortissant, ω tende soit vers zéro, ce qui permettra de reprendre la route en ligne droite, soit vers une limite finie, ce qui, comme nous le verrons, provoquera une trajectoire curviligne et donnera le virage.

Les deux stabilités latérales, à savoir la stabilité de route et la stabilité de l'aéroplane, sont d'ailleurs liées l'une à l'autre dans une certaine mesure. Il est clair, en effet, que les oscillations données par la première peuvent être, si l'on n'y prend garde, une des principales causes pour faire chavirer l'aéroplane. Aussi les dispositions dont on a pu se contenter pour les dirigeables, et qui laissent éminemment instable la direction dite *tête au vent* ($\theta'' = 0$), — ce qui nécessite l'intervention constante du gouvernail, — seraient-elles tout à fait défectueuses ici.

D'après ces quelques aperçus généraux, on conçoit que le problème de la stabilité latérale soit tout autre pour les deux grandes classes de navires aériens, alors que nous avons trouvé

des analogies pour la stabilité longitudinale. Néanmoins, les phénomènes connus concernant la stabilité latérale de route des dirigeables éclairent ceux qui se produisent pour les aéroplanes. Je vais donc les rappeler brièvement.

Le colonel Renard mit, devant la buse d'un ventilateur, des carènes pouvant tourner autour d'une broche verticale passant par leur centre de gravité. Il constata que leur position d'équilibre n'est pas tête au vent, mais qu'elle fait, au contraire, un angle δ avec cette direction. Cet angle, que les marins appellent angle de *dérive*, est de 90° pour les carènes symétriques ; avec les carènes dissymétriques, il diminue d'autant plus que la poupe a plus de développement superficiel, ou, d'une façon plus générale, que la carène a plus d'empennage vertical. M. le commandant Voyer en a très clairement expliqué la cause (1). Toute vitesse oblique V_1 provoque une résistance latérale R; si, faisant varier la direction de V_1, on prend les diverses résistances R_1 qui en résultent et qu'on trace leur courbe enveloppe dans le plan horizontal *(fig. 19)*, on obtient une courbe à quatre points de rebroussement. Menons la tangente à cette courbe par le centre de gravité G où se projette l'axe de rotation de la carène ; nous avons ainsi la résistance R correspondant à la direction V que doit avoir le courant pour qu'il y ait équilibre ; l'angle de dérive δ est l'angle de l'axe AB avec V. Si était rapproché de la proue et dehors de la courbe enveloppe, l'équilibre aurait lieu pour $= 0$. Malheureusement, pour une carène de dirigeable, on ne

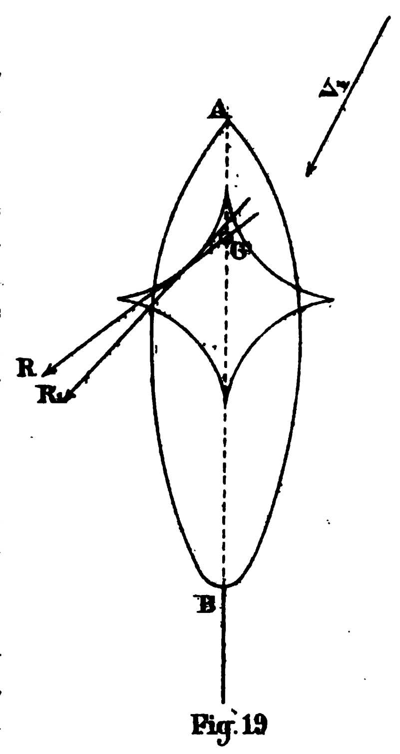


Fig. 19

(1) *Note sur les évolutions des dirigeables dans le plan horizontal.* Procès-verbaux de session extraordinaire de la Commission permanente internationale d'Aéronautique ne à Bruxelles en septembre 1907.

peut rapprocher suffisamment G sans se priver d'autres qualités essentielles.

Au lieu de cette carène tournant autour d'un axe, considérons un dirigeable qui se déplace suivant une trajectoire rectiligne avec laquelle son axe AB est maintenu en coïncidence, tandis que la barre du gouvernail est dans le prolongement de l'axe. Quand la vitesse de régime est atteinte, il y a équilibre entre la poussée horizontale Θ des hélices et la projection horizontale R de la résistance à l'avancement. Mais cet équilibre est instable, à cause de la position du centre de gravité à l'intérieur de la courbe enveloppe. La moindre perturbation, le moindre défaut de symétrie, font tourner le ballon autour de la verticale du centre de gravité. Si le pilote n'intervient pas, par un coup de barre approprié, Θ et R ne sont plus directement opposés. Mais alors, comme le remarque M. Voyer, apparaît une troisième force, née de l'incurvation de la trajectoire que va suivre le ballon : c'est la force centrifuge, qui remplace l'effort sur les tourillons de l'axe employé dans les expériences du colonel Renard. Quand l'équilibre s'établira entre ces trois forces, le mouvement deviendra circulaire et uniforme. Donc, dès que le pilote abandonne la barre d'un dirigeable, celui-ci ne tarde pas à tourner en cercle. Pour suivre la ligne droite, ou, plus exactement, une ligne sinusoïdale de direction générale déterminée, il faut agir constamment sur le gouvernail ; la fatigue qui en résulte dépend du degré de stabilité de route, et notamment de l'angle de dérive.

Il importe de soustraire absolument l'aéroplane à de telles sujétions, d'abord parce que le pilote est déjà absorbé par la manœuvre du gouvernail de profondeur, ensuite et surtout parce que les perpétuelles rotations dues à l'instabilité de la direction tête au vent compromettraient la stabilité latérale de l'aéroplane, qui est une des principales difficultés.

Si donc on imagine qu'on ait tracé pour l'aéroplane, comme pour le dirigeable, l'enveloppe des résistances latérales correspondant à des vitesses inclinées sur le plan de symétrie, le centre de gravité devra être en avant du point de rebroussement antérieur de cette courbe pour que la direction tête au vent soit stable et n'exige pas l'intervention continuelle du pilote. Il suffit d'ailleurs de considérer des vitesses horizontales V′, V″.... peu inclinées sur la directrice Θ, car les vitesses latérales qui

peuvent faire sortir la vitesse du plan de symétrie sont faibles par rapport à elle ; ces vitesses seront généralement dues aux pulsations du vent.

Les constructeurs doivent s'inquiéter très sérieusement de cette condition, qui appelle, en particulier, la précaution suivante. Chez beaucoup d'aviateurs, la tendance actuelle est de former le corps de l'aéroplane d'une carène, à surface unie et à lignes fines, comme la coque d'un bateau, et dans laquelle seraient logés le moteur, les impedimenta, et même une partie du corps du pilote. J'ai depuis longtemps préconisé cette disposition, dont la nature nous offre d'ailleurs l'exemple avec les oiseaux ; elle diminue considérablement la résistance à l'avancement dans la marche tête au vent, et nous avons vu que cela est d'un très gros intérêt. Mais, si la résistance d'une telle carène prédomine dans la résistance latérale, on risque précisément que la direction tête au vent ne soit instable, ce qu'il importe avant tout d'éviter. L'oiseau résout très simplement la difficulté en tournant légèrement la tête. Avec la carène rigide d'un aéroplane, on parviendra à la condition voulue avec une proue courte et un empennage vertical suffisant ; mais, comme nous le verrons, il faut se garder d'exagérer cet empennage.

Ce n'est donc pas sans précautions qu'on peut donner au corps de l'aéroplane la forme d'une carène, ainsi qu'on l'a fait dans nombre de projets où cette disposition est conçue d'une façon manifestement inconsidérée. Aussi vaut-il mieux peut-être, à tout prendre, se contenter de donner individuellement des formes fuselées aux pièces principales. « Le poids, écrit judicieusement M. Farman (1), a moins d'importance que la résistance à la pénétration, c'est-à-dire qu'une pièce quelconque un peu plus lourde, mais plus fuselée, est préférable à une pièce légère, mais résistant à la pénétration. Je suis arrivé à effectuer de longs vols en recouvrant avec de la toile certaines pièces exposées aux courants d'air. » Il sera évidemment bien préférable de substituer à la toile des couvre-corps parfaitement lisses.

J'ai appelé empennage horizontal la surface efficace fictive K'S', perpendiculaire au plan de symétrie, qui fait apparaître le moment $K'S'V^2\gamma L'$ dès qu'il y a rupture d'équilibre. D'une façon analogue, j'appellerai empennage vertical la surface efficace fictive K''S'', située dans le plan de symétrie, qui fait apparaître le

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 20 janvier 1908.

moment $K''S''V^2\delta L''$, dès que la vitesse sort du plan de symétrie, et fait avec lui l'angle δ. De même que l'aéroplane a un empennage horizontal naturel, qu'il est bon de compléter par une queue transversale prolongeant la directrice, de même il a un empennage vertical naturel, auquel il faut absolument adjoindre, s'il est insuffisant, une quille verticale assez grande pour que le centre de gravité soit en avant de la courbe enveloppe dont il a été parlé ; cela ne sera généralement indispensable qu'avec des aéroplanes à corps en forme de carène. Mais, une fois cette condition remplie, la quille est plus nuisible qu'utile.

En effet, la stabilité latérale de route n'assure nullement la stabilité latérale de l'aéroplane, comme c'était le cas pour la stabilité verticale de route, qui procurait la stabilité longitudinale du navire par suite de la liaison rigide de ce dernier avec la directrice. En cas d'embardées un peu fortes, il y a même d'autant plus de chances de ne pas faire chavirer l'aéroplane que le centre de pression des poussées latérales est moins éloigné du centre de gravité. Toutefois, les constructeurs feront bien de le mettre légèrement en arrière, pour être sûrs qu'il ne passe jamais en avant.

L'inutilité de la quille ou de tout autre mode d'empennage vertical, dans les aéroplanes sans carène, est montrée par l'excellente stabilité latérale des aéroplanes des frères Wright, qui n'offrent latéralement qu'une résistance insignifiante.

Stabilité latérale statique de l'Aéroplane. Couple résistant.

L'axiome d'après lequel une quille serait indispensable à la stabilité latérale n'est donc pas exact; elle peut seulement donner, en plan, de la fixité à la position de la directrice sur la trajectoire, comme la queue d'empennage horizontal le fait en élévation. Si un aéroplane sans quille n'a pas de stabilité latérale propre, ce n'est pas la quille qui lui en donnera.

En effet, elle doit être placée de façon à ramener la vitesse dans le plan de symétrie, celui-ci étant vertical ou non. Quand cet effet sera obtenu, il est clair que la vitesse ne produira plus aucune poussée, aucune force en V^2, pour s'opposer à ce que l'aéroplane chavire; en particulier, elle n'aura aucune action de cet ordre sur la quille puisqu'elle sera dans son propre plan.

L'effet de la vitesse sur la quille et sur la voilure est d'un tout autre ordre, et je vais étudier cet effet après que la vitesse aura été amenée dans le plan de symétrie.

On croit généralement que la voilure et la quille agissent par le moment de la résistance orthogonale, proportionnelle à $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2$, qu'elles opposent au mouvement de rotation de vitesse $\frac{d\omega}{dt}$. Fort heureusement, il n'en est rien, car $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2$ est très faible, et la résistance orthogonale due à la rotation propre serait tout à fait impuissante à empêcher l'aéroplane de chavirer. En réalité, grâce à la combinaison de la vitesse de rotation avec la vitesse de translation, $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2$ est remplacé par $V\frac{d\omega}{dt}$, ce qui fait intervenir la vitesse considérable de l'aéroplane, malheureusement à la première puissance seulement. Le couple qui contrarie la rotation est donc analogue à celui rencontré par le lieutenant Crocco pour la stabilité des ballons dirigeables, et dont j'ai parlé en étudiant la stabilité longitudinale. Mais ici, l'exclusivité de son action, si l'on ne recourt pas à des moyens de stabilisation dynamique, lui donne une particulière importance, et je vais l'étudier plus en détail.

Résolvons d'abord le problème suivant :

Considérons une voilure plane rectangulaire *(fig. 20)* de section

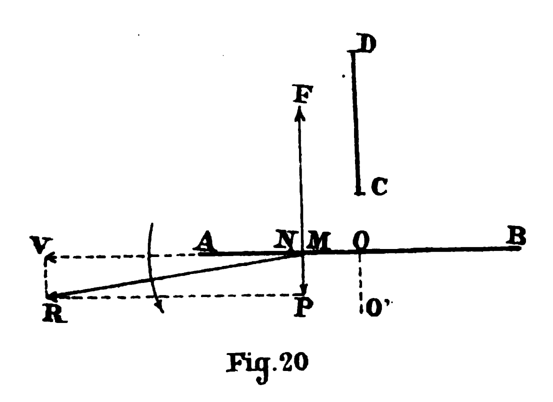


Fig. 20

B = 2l, de profondeur 2h, frappée par un courant de vitesse V ·rpendiculaire à AB et situé dans le plan même de la voilure.

Quand celle-ci est immobile, elle ne reçoit aucune poussée. Mais il n'en est plus de même si elle vient à tourner, par exemple dans le sens indiqué par la flèche, autour de l'axe projeté au milieu O de AB. En effet, soit M un point de AB, à la distance $OM = y$; en MN se projette la bande $2h\,dy$. Si $\frac{d\omega}{dt}$ est la vitesse angulaire de la rotation, la bande est animée de la vitesse $MP = y\frac{d\omega}{dt}$ perpendiculaire à AB, et de la vitesse V, également perpendiculaire à AB, mais normale au plan de la figure.

Rabattons ce plan autour de MP en VMP, et construisons la résultante MR des deux vitesses; l'angle de cette résultante avec la voilure, toujours faible à cause de la petitesse de $y\frac{d\omega}{dt}$ par rapport à V, est $i = \frac{y}{V}\frac{d\omega}{dt}$. La bande considérée reçoit donc une poussée normale $MF = 2KhVy\frac{d\omega}{dt}dy$. La bande symétrique reçoit une poussée égale M'F', et ces deux poussées donnent un couple résistant :

$$4KhVy^2\frac{d\omega}{dt}dy.$$

La somme de ces couples est :

$$4KhV\frac{d\omega}{dt}\int_0 y^2dy = 4KhV\frac{d\omega}{dt}\left(\frac{l^3}{3} + \frac{l^2}{2} + l\right).$$

En négligeant l^2 et l devant l^3, on a :

$$\frac{1}{3}KSV\frac{d\omega}{dt}l^2,$$

expression de la forme $C_rV\frac{d\omega}{dt}$: c'est celle proposée par M. Crocco; le coefficient C_r n'est du reste pas le même que celui qui intéresse la stabilité longitudinale.

Le raisonnement qui précède n'échappe pas à la critique que j'ai faite sur les compositions de vitesses, au début de mes considérations sur l'Aérodynamique. Mais tandis que, dans les calculs sur l'hélice, par exemple, on a prétendu expliciter ainsi

certains coefficients en fonction de divers éléments de construction, l'analyse ne sert ici qu'à donner une forme générale acceptable pour la fonction, et l'on en corrige, au contraire, le résultat en laissant C_r indéterminé, et en retenant seulement qu'il croît sensiblement comme la surface efficace et comme le carré de l'envergure.

Si l'axe de rotation est en O', au lieu d'être dans le plan, la forme de l'expression n'est pas modifiée lorsque OO' est petit par rapport à OA. En effet, l'excentricité OO' n'a d'influence que sur les régions centrales de la voilure; or, l'angle i, nul au point O, est très faible pour ces régions, qui n'interviennent pour ainsi dire pas dans la valeur du couple résistant.

Une quille CD n'aura d'effet appréciable que si elle est assez au dessus ou assez au dessous de l'axe de rotation. Elle produira alors un moment résistant $M_r V \frac{d\omega}{dt}$ généralement insignifiant par rapport au couple de la voilure, à moins qu'on ne donne à la quille une grande hauteur.]

Au lieu de la voilure AB frappée par un courant situé dans son propre plan, quand elle est immobile, considérons une voilure *sustentatrice* frappée alors par le courant sous un angle α. Pour faciliter le discours, j'appellerai aile la demi-voilure située d'un côté de la ligne médiane, alors même que la surface serait continue. Quand cette voilure vient à tourner dans le sens de la flèche, l'angle α s'augmente de i pour l'aile AO. La poussée sur cette aile est alors :

$$\int \frac{K}{2} V^2(\alpha + i)dS = \frac{KS}{2} V^2\alpha + \int \frac{K}{2} V^2 i dS.$$

Par contre, l'angle α diminue de i sur l'aile OB, qui reçoit une poussée :

$$\int \frac{K}{2} V^2(\alpha - i)dS = \frac{KS}{2} V^2\alpha - \int \frac{K}{2} V^2 i dS.$$

Les deux poussées $\frac{KS}{2} V^2\alpha$ s'ajoutent pour donner la poussée $KSV^2\alpha$, dont le point d'application est sur la ligne médiane de la voilure. Quant aux deux poussées $\int \frac{K}{2} V^2 i dS$, égales et de

sens contraires, elles donnent lieu au même couple résistant que celui obtenu dans le cas précédent.

Ainsi, la rotation de l'aéroplane autour d'une droite placée dans son plan de symétrie n'est contrariée que par le couple $C_r V \frac{d\omega}{dt}$ de la voilure et le moment $M_r V \frac{d\omega}{dt}$ de l'empennage vertical. Comme M_r est faible par rapport à C_r pour des aéroplanes à grande envergure, il n'y a d'autre intérêt à mettre une quille que pour placer, en projection horizontale, le centre de pression de l'empennage vertical un peu en arrière du centre de gravité. S'il est indispensable pour cela d'ajouter une quille, sa surface et sa distance horizontale au centre de gravité seront déterminées par cette condition : il pourrait sembler naturel alors de demander à la quille de collaborer un peu à l'action du couple résistant de la voilure, en la plaçant assez au dessus du centre de gravité, position qui est meilleure qu'au dessous, car elle donne le plus grand moment résistant et ne gêne pas à l'atterrissage. Tout au contraire, j'estime qu'il vaut mieux placer le centre de pression de la quille à la hauteur du centre de gravité, afin d'éviter une cause de déversement latéral de l'aéroplane sous l'effet de pulsations ou d'embardées obliques du vent. Mais il est encore de beaucoup préférable de ne pas rendre la quille nécessaire, en évitant certaines formes de carènes.

Dans le même ordre d'idées, il convient d'abandonner la voilure *fixe* en dièdre, qui n'ajoute rien au couple résistant. Le dièdre n'a de raison d'être qu'avec des voilures mobiles, et en chute, comme dans le vol des oiseaux. Il est dangereux dans les embardées obliques, surtout s'il est accentué. Les frères Wright, qui l'avaient employé dans leurs premiers aéroplanes, y ont bien vite renoncé.

Quant aux surfaces verticales formant cellules avec les surfaces de l'empennage horizontal, ou même avec les surfaces sustentatrices, elles peuvent avoir, dans une certaine mesure, une action stabilisatrice latérale, parce que ces cellules donnent lieu à des effets peu connus de contraction et de dilatation de la veine fluide qui y passe, et dont le flux a tendance à prendre un régime permanent ; ces effets sont susceptibles de donner quelque stabilité transversale ; en outre, leurs cloisonnements verticaux tiennent lieu de plan de dérive, pour amorcer les virages, mais ils ne sont pas alors sans offrir des inconvénients.

En définitive, c'est le couple $C_r V \frac{d\omega}{dt}$ qui est important pour la stabilité latérale propre, c'est-à-dire sans intervention dynamique. Il conduit à des envergures aussi grandes que possible.

Ainsi, comparons les couples résistants de l'aéroplane Farman, gagnant du prix Deutsch-Archdeacon, et de l'aéroplane W. Wright du Mans. Négligeons les gouvernails de profondeur, qui interviennent peu à ce point de vue. Le biplan avant et le biplan arrière de M. Farman donnent des couples proportionnels à :

$$38,4 \times \overline{10}^2 = 3\,840,$$

$$10,8 \times \overline{2,7}^2 = 80;$$

au total 3 920 pour une surface de 49,2 m². L'unique biplan de M. Wright donne un couple proportionnel à

$$50 \times \overline{12,5}^2 = 7\,812$$

pour 50 m². Toutes choses égales d'ailleurs, le second aéroplane a une stabilité latérale *propre* double du premier.

Néanmoins le couple résistant ne donne pas toujours une sécurité suffisante, et les frères Wright ont eu raison de ne pas s'en contenter, bien que, de tous les aéroplanes expérimentés jusqu'ici, le leur possède, en vitesse, la plus grande stabilité latérale propre. S'il est souhaitable, en effet, que la vitesse angulaire avec laquelle l'aéroplane s'incline ne soit pas trop rapide, ce qui serait dangereux, par contre une vitesse de rotation trop lente pourrait être plus dangereuse encore : car, dans ce cas, le couple, proportionnel à $\frac{d\omega}{dt}$, serait tout à fait insuffisant pour enrayer la rotation, et l'aéroplane, s'inclinant d'une façon plus lente, mais continue, arriverait à chavirer, à moins que le pilote n'ait un moyen d'intervenir par une action dynamique. Il lui faut alors le temps de se mettre en action, et c'est pourquoi il est bon que la vitesse $\frac{d\omega}{dt}$ soit assez lente, même avec des stabilisateurs automatiques. A cet effet, le moment d'inertie I' de l'aéroplane autour de l'axe parallèle à l'arbre de l'hélice et passant par le centre de gravité, doit avoir une valeur suffisante, ce qui est bien facilement réalisable avec de grandes envergures.

C'est pourquoi le couple résistant, qui peut être suffisant avec

de grandes envergures si l'air est assez calme, n'offre qu'une sécurité médiocre par air agité. Les procédés de stabilisation latérale par des interventions dynamiques sont autrement puissants, et ce sont ces interventions dont je vais maintenant m'occuper.

Stabilité latérale dynamique : Gauchissement et Gyroscope. Effets gyroscopiques des hélices.

Le gauchissement des ailes a l'avantage de donner un couple redresseur proportionnel à V^2, et non plus à $V \frac{d\omega}{dt}$. On conçoit donc qu'il ait une action très efficace, même s'il est peu accentué. Les ailes pliables des différents avions d'Ader étaient susceptibles d'être gauchies.

MM. Wright emploient le gauchissement depuis 1900. Ils règlent l'équilibre latéral par une augmentation de l'inclinaison du côté qui tend à s'abaisser, et par une diminution simultanée du côté qui tend à s'élever. A cet effet, la voilure, fixée à une armature rigide du côté de l'attaque sur l'air, a au contraire une certaine flexibilité à l'arrière, de façon qu'on puisse déplacer les deux coins postérieurs de ses extrémités latérales, et produire une légère torsion; les incidences de l'air sur les deux ailes sont ainsi modifiées, et en sens inverse. Cette torsion s'obtient, comme je l'expliquerai, par un mouvement différentiel provoqué par la manœuvre d'un levier actionnant des câbles d'acier qui passent sur des poulies de renvoi et sont fixés aux coins.

Mais, en même temps que la pression devient plus forte sur une aile que sur l'autre, la résistance à l'avancement de cette aile s'accroît, et l'aéroplane effectuerait un virage. Pour s'opposer à ce mouvement secondaire, mais intolérable, les frères Wright égalisent les résistances à l'avancement de chaque côté de l'aéroplane, soit en disposant des résistances réglables à droite et à gauche de sa partie centrale, soit, comme ils le font en réalité, en agissant sur le gouvernail vertical de l'arrière (1).

L'aéroplane de M. Esnault Pelterie a aussi des ailes flexibles, dont le gauchissement est commandé de la nacelle par le dépla-

(1) *Aérophile* du 1er mai 1908 : brevets français nos 384 124 et 5 délivrés le 27 janvier 1908 à MM. Wilbur et Orville Wright.



cement des haubans, très judicieusement calculés, qui supportent, par dessous, la majeure partie du poids total.

On peut reprocher à ces moyens de faire intervenir, beaucoup plus qu'il ne convient, l'habileté et le sang-froid du pilote, de qui ils exigent une surveillance continuelle et une grande sûreté de main. Il suffit que sa présence d'esprit soit un instant en défaut, qu'un accident ou même un incident détourne son attention, pour que la sécurité soit compromise. Ce peuvent être là des procédés admissibles pour des aéroplanes de sport, mais non pour les aéroplanes-navires qui feront suite à l'ère actuelle. Il serait de beaucoup préférable de recourir à des appareils de stabilisation automatique, tels que le pendule ou le gyroscope.

Le pendule présente divers inconvénients. Il n'agirait avec efficacité que pour des inclinaisons importantes, et s'opposerait difficilement aux faibles oscillations, qu'il convient cependant d'éteindre pour éviter leur superposition dangereuse, par exemple sous l'effet de la répétition rapide des pulsations du vent. Par ailleurs, ses effets d'inertie pourraient compromettre la stabilité, notamment quand on modifierait la vitesse. Toutefois, M. le professeur Berget signalait récemment, devant la Société française de navigation aérienne, les heureux résultats obtenus, sur les bateaux, par l'emploi d'amortisseurs d'oscillations pendulaires : tel est l'appareil Crémieux, dans lequel une sphère métallique roule dans un tube rempli d'un liquide visqueux ; cet appareil a pu réduire des neuf dixièmes les oscillations d'un remorqueur.

Mes préférences sont pour le gyroscope, dont je crois être le premier à avoir signalé tout l'intérêt pour l'aéroplane, et que j'ai recommandé à diverses reprises, notamment dans mon Mémoire de 1897, puis en 1902 (1). Il y a donc onze ans que j'en ai préconisé l'emploi pour assurer la fixité de la voilure, et lui permettre d'obéir sûrement à la loi des faibles inclinaisons, qui était alors une des grosses difficultés à vaincre. Il est clair que cette fixité résout, du même coup, le problème de la stabilité latérale. La permanence de l'axe de rotation donne, en quelque sorte, une barre d'appui ; par des systèmes faciles à imaginer, sinon à réaliser pratiquement, on a ainsi le moyen d'assurer la fixité de la voilure, dans la mesure que l'on désire, tout en se réservant la possibilité de reprendre une certaine liberté lorsqu'il sera nécessaire, notamment pour donner à la voilure l'inclinaison

(1) Dans son ouvrage le *Problème de l'Aviation*, M. J. Armengaud attribue par inadvertance à notre collègue M. P. Regnard la priorité de cette proposition.

latérale qui accompagne les virages ; le gouvernail vertical pourrait alors être supprimé, car il n'a d'autre but que de provoquer cette inclinaison, qui détermine un mouvement giratoire.

On peut aussi se servir du gyroscope pour commander automatiquement des stabilisateurs spéciaux. Je crois savoir que cette solution fait en ce moment, à Chalais, l'objet d'expériences poursuivies avec succès par M. le capitaine Lucas Girardville.

La mise au point de ces divers dispositifs est longue et délicate. Aussi nos aviateurs, pressés d'aboutir et d'établir ou de battre des records qui se précipitent avec une rapidité que n'espéraient pas les plus enthousiastes d'entre nous, n'ont pas eu le loisir de porter leurs efforts sur ces études. On doit se féliciter qu'elles soient abordées, dans notre illustre Établissement d'aérostation militaire, d'où sont sorties tant de grandes choses, par un Ingénieur de la distinction de M. Lucas Girardville. Leur réussite serait de conséquence, car le nouvel engin de locomotion pénétrerait rapidement dans la pratique si l'on donnait aux passagers l'impression qu'ils se déplacent comme si leur véhicule était guidé par d'invisibles rails.

Or tel sera, presque à la lettre, l'effet du gyroscope. Au lieu de laisser l'aéroplane prendre de la bande sous l'effet des perturbations extérieures, qu'elles soient lentes ou soudaines, qu'elles soient faibles comme les légères pulsations des vents de quelques mètres, ou violentes comme les rafales, il le soustraira à ces perturbations ; il s'y opposera d'autant plus énergiquement qu'elles voudront le violenter davantage ; il emmagasinera leur force vive, pour l'évacuer ensuite, lentement et sans danger, par l'intermédiaire des stabilisateurs. Mais on conçoit bien que, pour peu que la force vive à emmagasiner soit importante, il se produira une grande fatigue dans les articulations du gyroscope, d'où la nécessité de les construire solidement et d'éviter les trépidations des supports de l'appareil. Beaucoup plus que son poids propre, cette nécessité sera une grosse sujétion. C'est ainsi qu'un gyroscope de 1 200 kg, monté sur un torpilleur de 40 t, a réduit les oscillations dans la proportion de 1 à 6, mais en mettant à mal la coque d'acier. Bien évidemment, les pulsations de l'air ne donneront pas lieu à des effets aussi redoutables que la houle marine ; mais tout est relatif, et les frêles esquifs que sont les aéroplanes actuels ne se prêteraient pas à des effets de cette nature, même très atténués. Remarquons qu'il ne saurait être question, pour le moment, de faire sortir les aéroplanes par des

vents violents, alors que les bateaux restent au port par une mer agitée. Rappelons, d'autre part, qu'il est possible de construire des aéroplanes avec les matériaux à haute résistance et peu déformables employés dans les autres constructions : c'est même à cela qu'on sera conduit tout d'abord, ainsi que je l'ai montré dans ma Note récente à l'Académie des Sciences, dès qu'on voudra obtenir de grandes capacités de chargement.

Somme toute, la stabilisation par le gyroscope (déjà pratiquement employé dans la Marine, notamment pour maintenir l'horizontalité des torpilles automobiles) se présente comme possible. C'est volontairement que je me contente de l'esquisser, car ce serait sortir des limites d'une étude générale que de l'aborder dans les détails, d'autant que j'aurais le devoir d'en passer beaucoup sous silence. Mais vous sentez bien qu'elle n'offre pas, à tout prendre, de difficultés supérieures à celles que vous êtes habitués à vaincre, notamment pour la stabilisation et la régularisation des machines. Elle serait l'un des plus sûrs moyens de faire sortir l'Aviation de l'ère glorieuse, mais de pratique purement sportive, dont vous êtes aujourd'hui les témoins attentifs. Toutefois, elle ne devra pas empêcher de recourir aux précautions statiques dont je vous ai entretenus.

Je viens de parler du gyroscope comme appareil de stabilisation. Il existe déjà, à bord de l'aéroplane, un gyroscope dont les effets sont au contraire de nature à altérer sa stabilité dans certaines manœuvres, et notamment dans les virages : c'est l'hélice.

Avec les grandes vitesses de rotation dont elle est généralement animée, une hélice d'aéroplane n'est pas d'un effet négligeable à ce point de vue. Il ne serait pas exact de considérer l'ensemble du navire comme un système assujetti à un simple mouvement de translation, et les forces qui le sollicitent pourraient alors, si l'on n'y prenait garde, avoir des effets particuliers déconcertants.

Rappelons la propriété de la toupie gyroscopique : son axe OA, étant horizontal et soutenu par une de ses extrémités O, devrait basculer autour de O dans le plan vertical qui le contient, sous l'effet du moment dû à la pesanteur. Tout au contraire, il tourne dans un plan horizontal. Plus généralement, si l'on représente par des vecteurs le moment M des quantités de mouvement de la toupie et le moment M′ d'une force extérieure, la rotation de l'axe sera telle que la vitesse de l'extrémité du vec-

teur M, dirigé suivant OA, soit égale à M'; si les actions extérieures donnent lieu à un moment (ou à un couple) vertical, M' est horizontal : par suite M, donc OA, se meuvent dans le plan horizontal.

Imaginons un système de deux toupies gyroscopiques identiques tournant en sens inverse, et dont les axes parallèles OA, O'A' soient articulés à la façon d'un parallélogramme : les rotations s'annulent, et le moment de la pesanteur devient sans effet dans le sens horizontal, comme il l'était déjà dans le sens vertical.

C'est par ces considérations que M. Massau, le savant professeur de l'Université de Gand, a expliqué il y a quelques années les fréquents mouvements giratoires qu'on observe à bord des ballons dirigeables à une seule hélice (1) : ici, le moment de la pesanteur de la toupie est remplacé par le couple vertical que provoquent la force de propulsion et la résistance à l'avancement. M. Massau explique d'une façon analogue les mouvements de tangage, qui seraient, suivant lui, dans un dirigeable à hélice unique, un intermédiaire obligé pour que le gouvernail puisse agir : le moment horizontal que donne ce gouvernail produirait d'abord un déplacement à 90 degrés, c'est-à-dire un mouvement de tangage ; mais le couple de la force ascensionnelle et du poids interviendrait alors, et donnerait, en retour, un autre déplacement à 90 degrés, c'est-à-dire la giration horizontale voulue. A l'appui de ses dires, M. Massau signale que les dirigeables à deux hélices ont un tangage beaucoup moindre que ceux qui n'en possèdent qu'une.

En fait, rotation dans le plan horizontal et tangage des dirigeables s'expliquent par d'autres influences prépondérantes. L'effet attribué à l'hélice unique doit cependant être pris en considération dans les systèmes où elle donne lieu à d'importants moments de quantités de mouvement : tel est le cas des aéroplanes, avec leurs hélices beaucoup plus rapides que dans les dirigeables, et montées sur des esquifs relativement légers. Il semble bien qu'il y ait alors un réel intérêt à employer deux hélices tournant en sens inverse, notamment au point de vue de la stabilité dans les virages. Ainsi, avec une seule hélice dextrorsum à grande vitesse, un virage à 90 degrés à droite peut donner un important soulèvement de l'arrière de l'aéroplane,

(1) *Discours sur les ballons dirigeables*, Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand, 1904.

tandis qu'un virage à gauche produirait un soulèvement de l'avant : d'où, sous certaines réserves, le réel intérêt à employer deux hélices, d'autant que la surface ou la vitesse de rotation de chaque propulseur est moindre qu'avec un propulseur unique.

Virages.

Dans les considérations qui vont suivre, je suppose que l'aéroplane ait été soustrait aux effets gyroscopiques que peut produire l'hélice pendant les virages.

Au lieu de nous opposer à l'inclinaison de la voilure afin de conserver une trajectoire de projection horizontale rectiligne, provoquons, au contraire, une inclinaison ω. Prenons une coupe de l'aéroplane par le plan vertical passant par le centre de pression C et perpendiculaire à la trajectoire de ce point ; la voilure est alors représentée par sa transversale AB *(fig. 21)*. La pres-

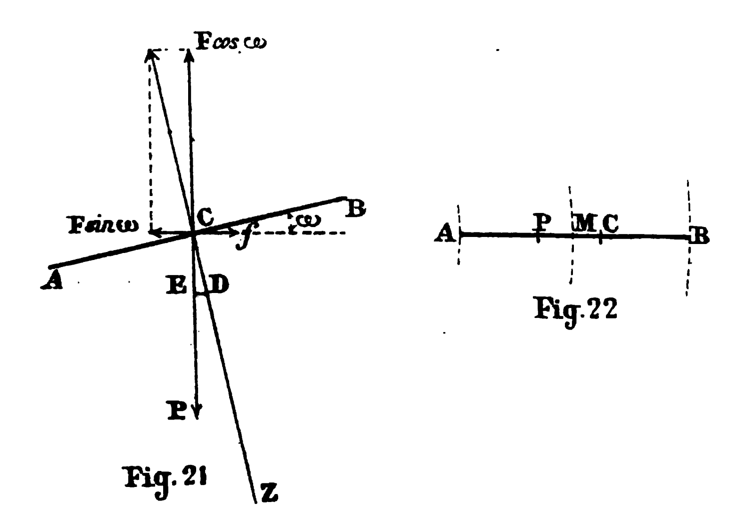


Fig. 21

Fig. 22

sion F, normale à la voilure, donne une composante horizontale $h = F \sin \omega$, force centripète qui, combinée à l'effort de traction, produit un mouvement curviligne. De ce mouvement naît une force centrifuge $\frac{P}{g}\frac{V^2}{\rho}$, opposée et égale à la force centripète, ρ étant le rayon de courbure de la trajectoire du centre de pression C.

Quel va être ce mouvement curviligne? Avant d'aborder cette question, je vais examiner l'influence de la différence des rayons de courbure aux différents points d'une voilure sans gauchissement.

La distance de ces points à l'axe instantané de rotation n'est plus ρ, comme pour le point C. Soient ρ' cette distance pour le milieu M de AB, et V la vitesse de ce point (*fig.* 22). Au coefficient K près, qui varie avec la position de chaque élément de surface, la pression sur la bande longitudinale projetée en dx, à la distance $MP = x$, est proportionnelle au carré de la vitesse de la bande, vitesse qui est elle-même proportionnelle à la distance du point P à l'axe de rotation. La pression sur la bande est ainsi proportionnelle à $V^2 \left(\frac{\rho' - x}{\rho'}\right)^2$. Appelons $2l$ l'envergure, et posons $\frac{l}{\rho'} = e$. La pression sur l'aile intérieure est donc proportionnelle à :

$$V^2 \int_0^l \left(\frac{\rho' - x}{\rho'}\right)^2 dx = V^2 l \left(1 - e + \frac{e^2}{3}\right),$$

ce qui donne, pour la pression sur cette aile :

$$\frac{KSV^2\alpha}{2}\left(1 - e + \frac{e^2}{3}\right).$$

La pression sur l'aile extérieure est de même :

$$\frac{KSV^2\alpha}{2}\left(1 + e + \frac{e^2}{3}\right),$$

d'où une pression totale :

$$KSV^2\alpha\left(1 + \frac{e^2}{3}\right).$$

Même avec $e = \frac{1}{4}$, cas qui ne se présente jamais, $\frac{e^2}{3}$ peut être négligé devant 1, et l'on voit que la pression totale est toujours $KSV^2\alpha$, ce qui permet d'admettre que, à égalité de puissance motrice, la vitesse du plan de symétrie de l'aéroplane n'est pas

modifiée par les virages, aux rayons accessibles dans la pratique. La pression sur l'aile intérieure a diminué dans le rapport de $1 - e$ à 1, tandis que la pression sur l'aile extérieure a augmenté dans le rapport de 1 à $1 + e$, c'est-à-dire dans le rapport des vitesses simples de chacune des extrémités de l'aile à la vitesse de sa ligne médiane. On a donc beaucoup exagéré la dissemblance de l'effet du virage sur les deux ailes en parlant du rapport des carrés de ces vitesses.

Le point d'application de la résultante des deux pressions est en dehors du plan de symétrie, du côté de l'aile relevée. Soit y sa distance à ce plan. On a, en prenant les moments :

$$\int_0^l \left(\frac{\rho' - x}{\rho'}\right)^2 (x + y)dx + \int_0^l \left(\frac{\rho' + x}{\rho'}\right)^2 (x - y)dx,$$

d'où :

$$y = 2l \frac{e}{3 + e^2},$$

et, en négligeant e^2 devant 3,

$$y = 2l \frac{e}{3}.$$

Bien entendu, ces formules ne prétendent nullement à la rigueur, car la méthode qui consiste à considérer la pression totale comme la somme de pressions élémentaires est défectueuse, ainsi que je l'ai expliqué. Mais je n'en fais pas ici la base d'une démonstration, et je lui demande seulement des indications pour apprécier l'ordre des perturbations introduites par la différence des rayons de courbure des trajectoires décrites par les divers points de la voilure. Réduite à ce rôle, elle peut être acceptée.

Chiffrons donc ces perturbations sur un exemple. Prenons l'aéroplane Farman, dont l'envergure est de 10 m, et supposons que le virage s'effectue avec un rayon de 50 m, au dessous duquel il ne convient pas de descendre avec la vitesse de cet appareil. On a, dans ce cas, $e = \frac{5}{50} = 0{,}1$; le rapport des pressions sur chaque aile est donc $\frac{0{,}9}{1{,}1} = 0{,}82$, et l'excentricité du centre de pression est $y = 0{,}33$ m. Avec un virage de 100 m,

on a $e = \frac{5}{100} = 0,05$; le rapport des pressions devient $\frac{0,95}{1,05} = 0,9$, et l'excentricité $y = 0,16$ m. Bien que la méthode de calcul ne soit pas rigoureuse, elle suffit à montrer qu'en pratique les perturbations sont faibles, et beaucoup moindres que certains auteurs ne l'ont imaginé.

Revenons à la figure 21, et étudions la trajectoire du point C. Le cas du virage ne diffère du mouvement rectiligne que par l'inclinaison de la voilure, qui introduit la force centrifuge; nous venons de voir, en effet, que la pression est toujours très sensiblement égale à $KSV^2\alpha$, α étant l'angle d'attaque de l'air, et que l'excentricité du centre de pression est pratiquement négligeable. Dès lors, si l'on remplace F par ses composantes verticale et horizontale $F \cos \omega$, $F \sin \omega$, l'équilibre obtenu en marche rectiligne ne sera pas troublé si l'on a à chaque instant :

$$F \cos \omega = P,$$

$$F \sin \omega = \frac{P}{g} \frac{V^2}{\rho},$$

et si la somme des moments des forces transversales par rapport au centre de gravité est nulle : cette dernière condition sera réalisée par le déplacement de masses à bord, ou l'intervention de toute autre cause pour produire l'inclinaison ω.

Des deux équations précédentes on tire :

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{V^2}{g\rho}.$$

Telle est la relation simple, établie par M. le commandant P. Renard (1). Elle semble indépendante du poids P; en fait, il n'en est rien, car V est fonction du poids de l'aéroplane.

La pression F sur la voilure est alors $\frac{P}{\cos \omega}$. Or, dans le mouvement rectiligne, elle était P; il a donc fallu l'augmenter pour

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 18 mai 1908. Cette relation n'est qu'approchée, car la force sustentatrice dépend d'autres éléments que ω, notamment de l'angle de dérive δ dont il sera question plus loin. Il serait oiseux de chercher à tenir compte de tous les paramètres qui influent sur l'inclinaison; on le pourrait à peine pour une voilure plane, mais le problème échappe à l'analyse avec les voilures de la pratique.

maintenir l'équilibre pendant le virage, et d'autant plus que ω est plus grand, c'est-à-dire que le rayon de virage est plus petit.

1° Supposons qu'on ne modifie pas la puissance du moteur. A l'instant t, où l'inclinaison est ω, la chute a lieu sous l'influence de la force $P\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right)$, donc avec une vitesse $gt\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right)$. Cette vitesse, combinée avec V, produit un accroissement $\frac{gt}{V}\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right)$ de l'angle d'incidence, d'où une augmentation $KSVgt\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right)$ de la pression, car, dans le calcul de celle-ci, on peut, sans erreur sensible, substituer la vitesse V du vol horizontal à la résultante des vitesses V et $gt\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right)$, celle-ci étant petite par rapport à la première. On a donc à chaque instant :

$$KSVgt\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right) = P\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right),$$

d'où :

$$KSVgt = P.$$

L'augmentation de l'incidence est égale à la pente β au point de la trajectoire où se trouve C à l'instant t, d'où :

$$\beta = \frac{P}{KSV^2}\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right).$$

D'autre part, d'après ce que nous savons sur la manière dont les aéroplanes opèrent leurs glissades, C tend à descendre de façon que sa trajectoire reste dans le plan de symétrie CZ. Donc, quand C aurait parcouru une distance horizontale de 1 m, il serait descendu suivant CZ de la quantité :

$$CD = \frac{P}{KSV^2}\left(\frac{1}{\cos\omega}-1\right).$$

Mais, s'il en était ainsi, quand ω prendrait une valeur perma-

nente i, d'une part ρ prendrait une valeur également permanente r donnée par la relation :

$$tgi = \frac{V^2}{gr};$$

d'autre part, la trajectoire serait une spirale descendante à pente constante :

$$\beta_i = \frac{P}{KSV^2}\left(\frac{1}{\cos i} - 1\right),$$

enroulée sur le cône décrit par la droite CZ tournant autour de la verticale passant par le centre de courbure. Ces deux résultats sont incompatibles, car le premier attribue à r une valeur constante, et le second une valeur variable. En réalité, l'effort sur la barre du gouvernail pour maintenir i constant, et par suite r, annihile la force latérale qui tend à faire glisser l'aéroplane de telle sorte que C soit sur le cône. Ce point se trouve ainsi maintenu sur le cylindre vertical dont la projection horizontale est la circonférence de rayon r, et il descend sur ce cylindre de la quantité :

$$CE = \frac{P}{KSV^2}(1 - \cos i)$$

par chaque mètre parcouru horizontalement.

La trajectoire finale dans l'espace est donc une hélice à pente constante $\frac{P}{KSV^2}(1 - \cos i)$ enroulée sur le cylindre vertical dont la projection horizontale est le cercle de rayon r. S'il n'y a pas de vent, cette projection pourra être prise sur le sol. S'il y a un vent *régulier* de vitesse u, il faudra supposer le cylindre entraîné avec cette vitesse, et, pour avoir la projection de la trajectoire, combiner les deux déplacements, pour chaque position de C sur sa trajectoire hélicoïdale.

La tendance de la trajectoire à se développer sur le cône dont il a été parlé oblige à exercer constamment un effort sur la barre, tant qu'on veut maintenir le rayon du virage. Dès qu'on l'abandonne, le rayon augmente, et conséquemment, par un effet heureux en fin de virage, l'aéroplane se redresse progressivement.

Il est facile de voir comment se raccorde l'hélice qui vient d'être définie à la trajectoire initiale, c'est-à-dire à la droite horizontale parcourue à la vitesse V. Dans cette période de raccordement, ω varie de 0 à i, et ρ de ∞ à r. La projection horizontale est donc une spirale raccordant la projection de la droite au cercle final de rayon r. La trajectoire dans l'espace est une hélice à pente variable :

$$\beta' = \frac{P}{KSV^2}(1 - \cos \omega),$$

enroulée sur le cylindre vertical ayant pour base cette spirale. Elle a pour ordonnée :

$$z = -\frac{g}{2V^2}(1 - \cos \omega)x^2.$$

Cette courbe, d'allure parabolique, dépend de la loi de croissance de ω.

Développé sur un plan, l'ensemble de la trajectoire est donc (*fig.* 23) l'horizontale AB, l'arc parabolique BC dont les tan-

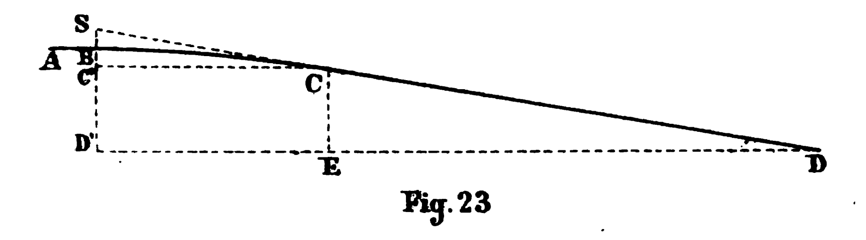


Fig. 23

gentes font avec AB des angles croissant, en valeur absolue, de 0 à $\beta'_i = \frac{P}{KSV^2}(1 - \cos i)$, puis la droite CD de pente β'_i. Cette valeur β'_i, la plus grande de β', peut s'écrire $\alpha_0(1 - \cos i)$, où α_0 est l'inclinaison de la voilure dans le vol rectiligne horizontal AB; c'est une fraction de α_0 : elle est donc toujours très faible et d'autant plus petite que le rayon de virage est plus grand. Par contre, pour obtenir une certaine amplitude de virage, 180 degrés, par exemple, elle se prolonge sur une longueur proportionnelle à ce rayon.

Quant à la hauteur de chute, elle diminue du fait de β'_i, mais augmente du fait de la longueur de l'arc décrit. Pour un virage

de longueur horizontale développée en D′D, elle est BC′ + CE, où BC′ correspond à l'arc parabolique, et où CE = EDβ'_i. Il serait possible de calculer BC′, mais cela n'a aucun intérêt pratique, car, étant donnée la faible durée de la période de raccordement, on peut prendre pour chute totale D′Dβ'_i, ce qui revient à l'augmenter de la hauteur SB, quantité généralement négligeable par rapport à la chute totale. Dans ces conditions, la hauteur de chute pour un virage de 180 degrés d'amplitude est :

$$h = \pi r \frac{P}{KSV^2}(1 - \cos i) = \frac{\pi}{g} \frac{P}{KS} \frac{1 - \cos i}{\operatorname{tg} i}.$$

On peut l'écrire :

$$h = h_1 \frac{P}{KS},$$

en posant :

$$h_1 = \frac{\pi}{g} \frac{1 - \cos i}{\operatorname{tg} i} = 0{,}32 \frac{1 - \cos i}{\operatorname{tg} i}.$$

h_1 est donc la hauteur de chute d'un aéroplane caractérisé par $\frac{P}{KS} = 1$.

2° Si l'on veut effectuer le virage dans un plan horizontal, du moins à partir du moment où ρ a pris la valeur permanente r, il faut demander au moteur le supplément de puissance que produirait la glissade, c'est-à-dire $2PV\beta_i$, si le rendement moteur-propulseur est $\frac{1}{2}$. Ce supplément est indépendant de l'amplitude, mais il doit être fourni pendant un temps proportionnel à r.

Pour un virage de 180 degrés, le supplément est, en kilogrammètres par seconde et par tonne d'aéroplane :

$$\tau = 2\,000 \frac{P}{KSV}\left(\frac{1}{\cos i} - 1\right).$$

On peut l'écrire de même :

$$\tau = \tau_1 \frac{P}{KS},$$

en posant :

$$\tau_1 = 2000 \frac{1}{V}\left(\frac{1}{\cos i} - 1\right).$$

Ce supplément de puissance motrice ne tient du reste pas compte de ce qui pourrait être demandé, en outre, par une augmentation de la résistance à l'avancement dans les virages.

J'ai résumé les principales caractéristiques du virage dans la table IX, qui donne :

1° Les valeurs de l'inclinaison i que prend un aéroplane dans un virage de rayon r à la vitesse V ;

2° La hauteur de chute h_1, *en centimètres* $\left(\text{soit } 32\frac{1-\cos i}{\text{tg } i}\right)$, de l'aéroplane $\frac{P}{KS} = 1$ dans un virage de 180 degrés. Pour avoir la hauteur de chute d'un aéroplane quelconque, il suffit de multiplier par la valeur de $\frac{P}{KS}$ qui le caractérise. La chute sera moitié avec un virage de 90 degrés et double avec un virage de 180 degrés ;

3° Le supplément de puissance τ_1, en kilogrammètres par seconde et par tonne de l'aéroplane $\frac{P}{KS} = 1$, pour effectuer un virage de 180 degrés dans le plan horizontal. Comme ci-dessus, il suffit de multiplier par $\frac{P}{KS}$ et par le poids de l'aéroplane exprimé en tonnes. Si le rendement du système moteur-propulseur est autre que $\frac{1}{2}$, on multipliera par le rapport du rendement réel au rendement supposé.

Sauf pour $r = 25$ m, il n'a pas été inscrit d'inclinaisons supérieures à 30 degrés, car elles sont pratiquement inacceptables. Encore n'ai-je poussé les calculs jusqu'à cette inclinaison que pour montrer l'allure des caractéristiques.

Cette table est très intéressante, car elle fournit rapidement ces caractéristiques pour les virages d'un aéroplane donné, et montre quels sont ceux qu'on ne saurait réaliser. Ainsi, un virage de 100 m, abordé à la vitesse horizontale de 17,5 m par seconde ou 63 km à l'heure, suppose une inclinaison finale permanente de 17°20'. Si l'aéroplane a les caractéristiques $\frac{P}{S} = 16$ et $K = 0,4$, d'où $\frac{P}{KS} = 40$, la chute dans ce virage sera $4,6 \times 40 = 184$ cm pour une amplitude de 180 degrés. Si son poids est 500 kg, le supplément de puissance pour que le demi-cercle

TABLE IX. — *Caractéristiques théoriques des Virages.*

RAYON r du VIRAGE	en m/s en km/h	12,5 45	15 54	17,5 63	20 73	22,5 81	25 90
25	i	32° 30′					
	h_1	7,9					
	τ_1	29,8					
50	i	17° 40′	24° 40′				
	h_1	4.7	6,3				
	τ_1	7,9	13,3				
75	i	12°	17°	22° 40′	28° 30′		
	h_1	3,3	4,6	5,9	7,1		
	τ_1	3,5	6,1	9,5	13,7		
100	i	9°	13°	17° 20′	22° 10′	27° 20′	
	h_1	2,4	3,7	4,6	5,8	6,9	
	τ_1	1,9	3,5	5,4	8	11	
125	i	7° 40′	11°	14° 40′	19°	23° 30′	28° 20′
	h_1	2,2	3	4	5	6,1	7,1
	τ_1	1,5	2,4	3,9	5,7	8	10,8
150	i	6°	8° 40′	11° 50′	15° 10′	19°	23°
	h_1	1,5	2,3	3,2	4,1	5	6
	τ_1	0,8	1,5	2,4	3,6	5,1	7

soit horizontal, à partir du moment où l'inclinaison s'est fixée à 17°20′, est $5{,}4 \times 40 \times 0{,}5 = 108$ kilogrammètres par seconde, soit un peu moins de 1 cheval-vapeur et demi, avec un rendement $\frac{1}{2}$ du système moteur-propulseur.

Si l'on estime imprudentes les inclinaisons de plus de 20 degrés, on voit qu'on ne doit pas aborder les virages de 50 m avec une vitesse supérieure à 14 m, et les virages de 100 m avec une vitesse supérieure à 19 m : ces vitesses tombent ou ne tombent pas dans le champ des vitesses d'équilibre de l'aéroplane. Par ailleurs, la limite inférieure admissible pour le rayon de virage peut être imposée par la construction de l'appareil : s'il a une quille importante, ou des plans de cloisonnement verticaux, qui ne peuvent naturellement s'incurver suivant le rayon du virage, il y aurait, pour de courts rayons, des résistances assez considérables, voire même des déviations, qui rejetteraient l'aéroplane en dehors de la courbe, et pourraient amener des dislocations si l'on s'entêtait à vouloir virer court.

La table montre aussi que, dans les envolées effectuées à des altitudes généralement faibles, il peut être dangereux d'aborder les virages sans prendre de la hauteur avant d'entrer en courbe (1).

Enfin, on voit que, sauf pour les virages très courts et à grande vitesse, le supplément de puissance motrice pour rester dans le plan horizontal pendant le virage est en somme assez faible.

Quant aux procédés de virage, je viens de montrer qu'il suffit d'incliner transversalement la voilure, sans qu'il soit indispensable de recourir à un gouvernail vertical. Les oiseaux n'opèrent pas autrement, comme l'avait fort bien compris Léonard de Vinci dans ses réflexions, parfois si judicieuses, sur le vol des oiseaux. Le gauchissement des ailes, le déplacement transversal d'une masse à bord, l'emploi d'un rhéostat de résistances à l'avancement, réglables et placées à droite et à gauche du pilote, bref toute manœuvre susceptible d'amener l'inclinaison de la oilure peut dispenser de ce gouvernail.

(1) L'inconvénient des petites altitudes a été reconnu par les aviateurs ; au lieu de se nir de 2 à 4 m au dessus du sol, comme au début, ils évoluent maintenant entre 10 et 0 m, ce qui est, à tout prendre, moins dangereux en cas de chute, car le pilote a le emps d'intervenir pour atterrir suivant une faible pente. Les évolutions au ras du sol doivent être tentées que par des aviateurs ayant acquis une grande habileté.

Réciproquement, un tel gouvernail, d'un emploi si commode, suffit-il à faire décrire à l'aéroplane une trajectoire curviligne? Oui, mais seulement si l'appareil présente une résistance latérale suffisante. En effet, le gouvernail de direction et l'hélice n'ont la propriété de gouverner les bateaux et les dirigeables que parce qu'ils forment, avec la coque, un *système* qui perdrait presque totalement cette propriété si la coque n'offrait au fluide qu'une résistance latérale nulle ou insignifiante. Avec ces navires, l'inclinaison γ du gouvernail provoque un angle de dérive δ, fonction de γ. Considérons la projection dans le plan horizon-

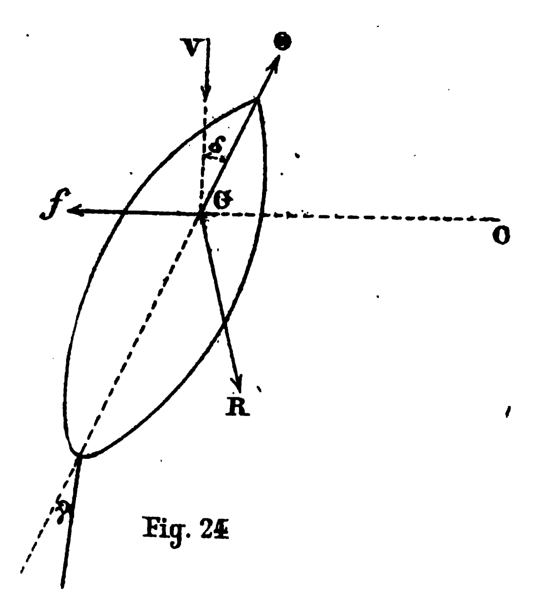


Fig. 24

tal *(fig. 24)*; la force centrifuge *f* se place de façon à faire avec l'effort de traction Θ l'angle $\delta + \frac{\pi}{2}$. Le dirigeable fixe sa position par une valeur de δ pour laquelle la résistance coupe l'axe vertical projeté en G, et la valeur du rayon de courbure est telle que les trois forces Θ, *f* et R se fassent équilibre.

Il pourrait en être de même avec un aéroplane ayant une carène d'un développement suffisant, ou, à son défaut, des plans de dérive. Mais, avec des aéroplanes ayant peu de dérive (ce que j'ai montré préférable au point de vue de la stabilité transversale), Θ et R sont sensiblement dans le prolongement l'un de l'autre et perpendiculaires à *f*. Dès lors, il faut une force pour

équilibrer cette dernière : d'où la nécessité que la voilure s'incline, jusqu'à ce que F sin $\omega = f$.

Par une interversion de cause à effet, le gouvernail seul peut-il produire l'incurvation de la trajectoire, laquelle déterminerait l'inclinaison de la voilure? Si l'on déplace la barre à gauche pour évoluer à droite, comme l'indique la figure 24 où la carène devrait être remplacée par une simple voilure, l'aéroplane est déplacé vers la gauche, en même temps qu'il tourne un peu à droite *sur lui-même;* quant à la trajectoire, elle ne s'incurve que si la voilure s'incline. C'est d'ailleurs ce qui se produit parce que la rotation de l'appareil sur lui-même donne un léger supplément à la vitesse de translation, et par suite à la résistance, du côté de l'aile gauche, tandis qu'elle donne une légère diminution sur l'aile droite : d'où un effet différentiel qui amorce l'inclinaison, mais très faiblement; l'aéroplane n'obéit donc qu'avec paresse. Par suite, dans les aéroplanes à très faible résistance latérale, une autre intervention est utile pour amorcer le virage : dans le Wright, le gauchissement résout excellemment le problème.

Dans les aéroplanes à voilure tout à fait rigide, comme ceux des frères Voisin, on a été amené à mettre quelques cloisonnements au biplan avant, ceux de l'arrière ne pouvant donner l'effet cherché. Mais, comme je l'ai indiqué, les cloisonnements ne sont pas sans inconvénients dans les virages à court rayon.

La manœuvre de la barre est beaucoup moins rude que pour les dirigeables, et d'autant plus aisée, si l'on dispose du gauchissement, que l'empennage vertical est moindre et qu'il y a peu de quille. Ainsi s'explique l'aisance remarquable des évolutions des aéroplanes Wright, où la résistance latérale semble réduite au minimum ; il est possible que, par contre, la stabilité latérale de route automatique y soit inférieure, mais cela importe assez peu puisqu'elle n'assure pas la stabilité latérale de l'aéroplane, obtenue ici par les gauchissements de la voilure.

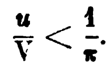
En résumé, l'empennage vertical est un procédé statique médiocre, tant pour réaliser la stabilité transversale que pour favoriser les virages. Les moyens dynamiques sont autrement sûrs et efficaces.

Je terminerai en disant quelques mots de l'action du vent dans les virages.

Je ferai remarquer, une fois de plus, que la vitesse du vent n'intervient pas *directement* dans la possibilité de virer, comme

on le prétend tous les jours dans les relations des expériences des aviateurs ; autrement dit, au point de vue mécanique, il n'est pas plus difficile de *tourner de 180 degrés*, par exemple, dans un vent *régulier* de 10 m par seconde, que s'il n'y a pas de vent. On s'en rend aisément compte en imaginant que l'aviateur évolue au dessus d'un nuage qui dérobe la terre à ses yeux, et l'on comprend alors qu'il a la même facilité à franchir la série des azimuts, quelle que soit leur orientation, pour effectuer son virage, de même que, pour un parcours rectiligne, il a la même facilité à s'orienter dans un azimut quelconque, nord ou sud, est ou ouest : c'est ainsi qu'un aéroplane incliné d'un angle permanent tournerait en cercle parfaitement régulier autour d'un ballon libre. Il en sera de même près du sol si le pilote ne rapporte pas sa trajectoire à des objets terrestres, si par exemple il veut virer de 180 degrés, sans s'inquiéter de la ligne décrite au dessus du sol : car une courbe quelconque de l'espace apportant une déviation de 180 degrés dans la direction suivie donnera toujours lieu à une projection terrestre apportant la même déviation. Mais comme l'aviateur rapporte généralement ses évolutions à des objets terrestres, surtout quand il en est rapproché, il en résulte pour lui une sujétion réflexe, qui peut le gêner, et dont il ne s'affranchit qu'avec l'habitude.

Il est possible, du reste, que cette sujétion réponde à des nécessités, par exemple éviter un bois, un village, ou réaliser une condition d'un concours, telle que d'effectuer un virage autour d'un poteau. Alors, la vitesse du vent impose quelques précautions dans les manœuvres à effectuer. Ainsi, prenons l'exemple d'un virage de 180 degrés autour d'un poteau P, dans le cas le plus défavorable, celui où l'aviateur aborde ce virage après avoir parcouru une trajectoire rectiligne qui, dans l'espace, est perpendiculaire à la direction u du vent. Une inclinaison fixe lui fait décrire, toujours dans l'espace, une demi-circonférence ABC (*fig. 25*) qui, projetée sur le sol au fur et à mesure qu'elle est parcourue, donne la courbe AB′C′ ; cette courbe enveloppe ou n'enveloppe pas le poteau suivant que, pendant le temps mis par l'aéroplane à parcourir ABC, la dérive totale C′C est inférieure ou supérieure au rayon de la demi-circonférence. La condition de possibilité est donc :



$$\frac{u}{V} < \frac{1}{\pi}.$$

Par conséquent, avec un virage à inclinaison constante, il faut que la vitesse d'un vent transversal ne dépasse guère le quart de celle de l'aéroplane pour qu'on enveloppe aisément le but. Mais, avec un virage à inclinaison variable, le pilote pourra y réussir avec une vitesse de vent égale aux trois quarts de celle de l'aéroplane, en décrivant dans l'espace une courbe continue, allongée dans le sens de la vitesse du vent ; un manœuvrier habile pourra même faire en sorte que cette courbe, rapportée au sol, donne une demi-circonférence autour du poteau P ; il lui faudra alors décrire réellement la courbe ABC

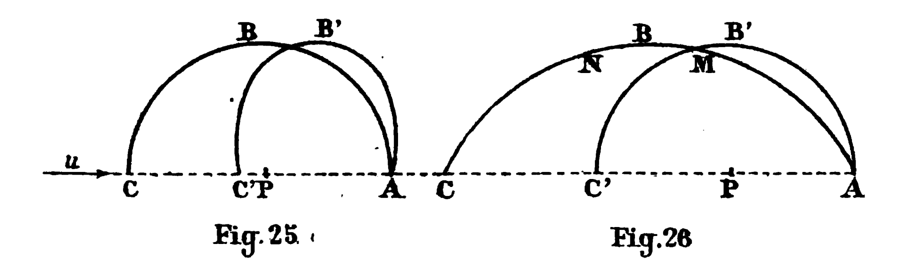


Fig. 25 Fig. 26

(*fig. 26*). Un pilote moins adroit pourra toujours, à la rigueur, remplacer le parcours MN par une droite plus ou moins longue, de façon à gagner sur le vent, et terminer ensuite son virage en toute sécurité. Il suffit alors qu'on ait $u < V$.

Voilà ce qui se passerait avec des vents *réguliers*. Malheureusement, ils ne le sont jamais, et alors, s'il est toujours vrai que leur vitesse *moyenne* n'intervient pas directement, par contre elle intervient indirectement, d'une façon qui peut être dangereuse, par ce fait que les pulsations du vent, c'est-à-dire les variations de la vitesse moyenne u, sont généralement proportionnelles à u. Autrement dit, le problème des évolutions dans l'espace, qui serait indépendant de u si l'on avait $\delta u = o$, en dépend parce que δu est de la forme $u\ f(\delta t)$.

Conditions favorables a l'établissement des Aéroplanes-navires.

Reprenant les conditions que j'ai énoncées à la suite de ·tude de l'équilibre, je vais les compléter par celles qui sont ·vorables, sinon indispensables, à la stabilité et à la propulsion ·s aéroplanes-navires. Toute l'étude qui précède se trouve ainsi ·sumée comme suit :

Directrice coïncidant avec l'arbre de l'hélice, la résistance étant directement opposée à la traction quand la trajectoire est parallèle à l'arbre, ce qu'il convient de réaliser de préférence pour le vol horizontal;

Centre de gravité à faible distance de l'arbre en vue du planement;

Centre de pression coïncidant avec la projection du centre de gravité sur la voilure plane équivalente, en marche parallèle à la directrice;

Dispersion suffisante, au lieu de concentration des masses, en n'éloignant toutefois du centre de gravité que les masses non sujettes à varier;

Empennage horizontal, allongé transversalement, prolongeant l'arbre de l'hélice, et sans exagération; à son défaut, surfaces produisant un moment qui limite les variations de l'inclinaison;

Rapport entre l'empattement superficiel et l'empattement massique (moment d'inertie autour de la perpendiculaire au plan de symétrie passant par le centre de gravité) au moins égal au carré du rapport entre la surface efficace de la voilure et la masse de l'aéroplane;

Voilure légèrement concave, à courbure très pure, à bord d'attaque rigide, et sans relèvement en dièdre; les gauchissements de la voilure sont très efficaces pour la stabilité transversale et les virages, mais il est préférable que toute la voilure soit rigide, la stabilité latérale étant assurée par des moyens dynamiques automatiques;

Gouvernail de profondeur indépendant, ou queue d'empennage horizontale mobile en faisant office;

Envergure aussi grande que possible, avec un suffisant moment d'inertie par rapport à l'axe passant par le centre de gravité et parallèle à l'arbre, surtout si l'aéroplane ne comporte pas de stabilisateurs dynamiques;

Multiplicité des parties fuselées;

Absence de quille verticale, sauf, s'il est nécessaire, pour placer le centre de pression latérale en arrière du centre de gravité et à la même hauteur;

Stabilisation dynamique automatique, notamment par le gyroscope;

Deux hélices tournant de 500 à 800 tours au plus, pour les vitesses de translation actuelles et sous la réserve faite p. $\mathbf{234}_{16}$.

DEUXIÈME PARTIE

HISTORIQUE DE L'AÉROPLANE

Les Précurseurs.

L'historique du plus lourd que l'air ne manque certes pas d'intérêt, au point de vue de l'évolution des idées sur un sujet que beaucoup de bons esprits considéraient naguère comme une utopie. La hardiesse des essais, la lutte contre les préjugés du public et les dogmes d'une science quasi officielle (comme ce ridicule axiome suivant lequel on ne saurait prendre appui sur l'air), la grandeur du but, l'influence que le navire aérien est appelé à exercer sur la civilisation, tout doit faire souhaiter que cet historique soit écrit quelque jour par une plume autorisée, qui en fasse une page de haute critique scientifique.

Mais, à l'heure présente, heure d'action, heure de gestation féconde d'où sortent les premiers aéroplanes portant des hommes, votre curiosité est attirée sur des faits plus immédiats. Je ne vous ferai donc qu'un aperçu rétrospectif, juste assez pour essayer de rendre un hommage impartial aux véritables précurseurs de ce mouvement vers l'Aviation, que d'aucuns, venus tardivement, s'imaginent aujourd'hui avoir dirigé.

Bien que l'aéroplane dérive du cerf-volant et que celui-ci soit connu de la plus haute antiquité, la première étude rationnelle de l'aéroplane remonte seulement à cent ans. Elle est due à sir George Cayley, qui publia en 1809, dans le célèbre *Journal de Nicholson*, une série d'articles d'une étonnante lucidité. Néanmoins, ils passèrent presque inaperçus. Pénaud les exhuma en 1874, et les présenta à la Société française de Navigation aérienne en termes émus et justement enthousiastes (1). Machine à vapeur à tubes d'eau de petit diamètre entourant le foyer,

(1) L'*Aéronaute*, 1874.

avec condenseur à surface, moteur à explosions à mélange gazeux, propulsion par l'hélice, sustentation par une voilure inclinée, déplacement du centre de pression et essai d'équilibre automatique, empennage, fuselage des formes pour réduire la résistance à la pénétration, bref les principales caractéristiques de l'aéroplane actuel y sont sobrement, mais nettement étudiées. « Voilà un homme, conclut mélancoliquement Pénaud, qui, au commencement du siècle..., indique la plupart des conceptions qui feront la navigation aérienne et dont plusieurs ont fait, isolées, le renom de beaucoup d'autres chercheurs ; c'est à Londres, dans un journal scientifique des plus répandus, que ces lignes sont imprimées ; eh bien, il ne se trouve personne qui comprenne la portée de cet esprit, qui l'encourage, qui l'aide, et qui soit stimulé par ses vivifiantes pensées ». Au reste, Cayley donna un corps à l'aéroplane né d'emblée dans son cerveau : il commença par exécuter un appareil sans moteur, avec lequel il obtint des résultats encourageants ; puis il construisit un aéroplane à moteur, qui fut malheureusement brisé dans les essais.

En 1842 et 1843, Henson se fit connaître par un projet d'aéro-

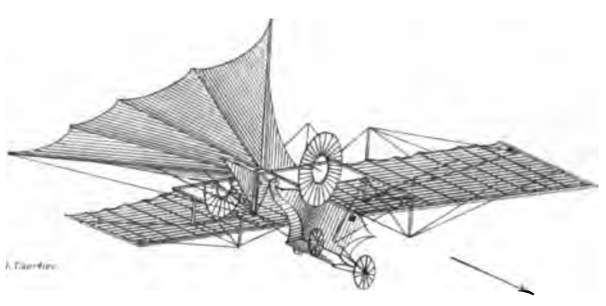


Fig. 27

plane dont le journal l'*Illustration* publia une description détaillée. Analogue à celui de Cayley, il présentait en outre la particularité d'une queue en forme d'éventail articulé *(fig. 27)*. La voilure, calculée à raison de 1 pied carré par demi-livre, était en soie huilée tendue sur un grand cadre en bambou, et reposait sur un chariot à roues descendant un plan incliné ; à l'arrière se trouvait un gouvernail ; une machine à vapeur devait actionner une paire de roues à palettes. Ce projet ne put être réalisé qu'en petit et ne donna rien de bon.

En 1856, un marin breton, nommé Le Bris, qui avait été frappé, au cours de ses voyages, par les manœuvres des voiliers, construisit un oiseau de 42 kg et de 15 m d'envergure (*fig. 28*). Les ailes, dont on pouvait modifier l'inclinaison, étaient fixées sur des nervures en bois flexibles. Le Bris se fit remorquer par une charrette au trot; l'appareil agit à la façon d'un cerf-volant,

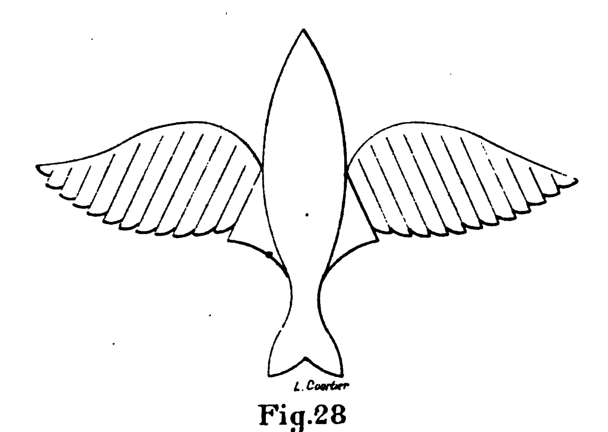


Fig.28

mais avec une inclinaison beaucoup moindre que pour les cerfs-volants ordinaires; il enleva l'expérimentateur à 100 m de haut, au dire de nombreux témoins (1). Plus tard, Le Bris s'essaya à des glissades, en partant d'un lieu élevé; mais ses ressources modestes ne lui permirent pas de poursuivre ses intéressants essais.

En 1866, Wenham eut l'idée, originale pour l'époque, de superposer plusieurs plans allongés, avec lesquels il exécuta des glissades, couché horizontalement le long de la médiane du plan inférieur : c'est la position que prendront les frères Wright dans leurs essais d'aéroplanes sans moteur. Wenham construisit aussi, avec Stringfellow, un aéroplane avec moteur à vapeur actionnant une hélice, propulseur dont il avait donné une judicieuse théorie (*fig. 29*).

Ces quelques exemples vous montrent qu'on connaît depuis longtemps les deux principaux types actuels, le monoplan et le multiplan, ainsi que le lancement par roues, le procédé d'étude de l'équilibre par remorque et par glissades. Mais toutes ces recherches n'étaient que des préliminaires. Il pouvait bien être

(1) G. de la Landelle, *Dans les airs*.

fait d'intéressantes expériences sur la forme des aéroplanes, sur la qualité sustentatrice des voilures, sur l'équilibre et la stabilité; il est même regrettable qu'on n'ait pas poursuivi rationnellement celles de Le Bris, car l'heure du premier vol mécanique en aurait certainement été hâtée : mais ce qui manquait absolu-

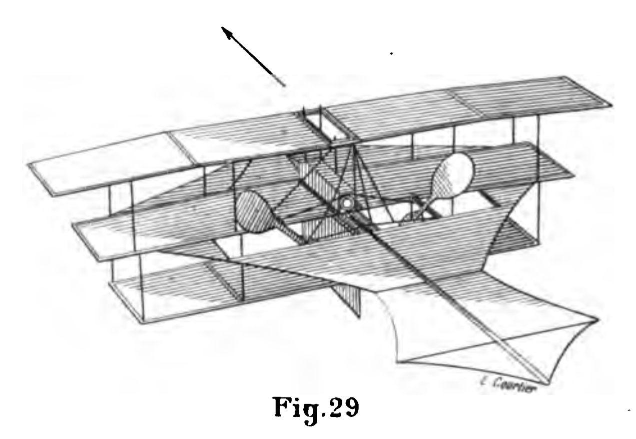


Fig.29

ment et qui ne pouvait être réalisé à l'époque qu'au prix d'un effort de Titan, d'une invention puissamment géniale, c'était un moteur suffisamment léger, du moins pour un aéroplane capable de porter un homme.

Aussi, le premier appareil mécanique qui ait réussi à voler fut-il de taille beaucoup plus exiguë que les précédents : c'était un simple jouet, où le moteur léger figurait sous les espèces

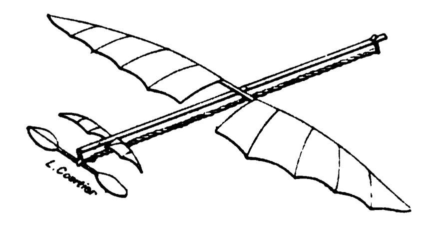


Fig. 30

d'un caoutchouc tordu. Il était dû à Alphonse Pénaud, esprit scientifique de premier ordre, dont j'ai rappelé les remarquables théories. Ce petit aéroplane *(fig. 30)* fut expérimenté en 1871; grâce à une queue stabilisatrice et au lestage des ailes concaves, il se montra remarquablement stable, bien qu'il eût une seule hélice, au lieu des deux propulseurs tournant en sens inverse qu'on

avait crus jusqu'alors indispensables pour éviter l'effet de déversement d'un propulseur unique. Ce dispositif, suffisant dans les conditions de l'expérience, eut, à mon avis, une influence plutôt fâcheuse. Pénaud avait conçu un projet de grand aéroplane; bien malheureusement pour la science, il mourut à 30 ans, lauréat de l'Institut, avant d'avoir pu en commencer l'exécution.

L'aéroplane de Pénaud était un appareil de démonstration, qui certes avait sa valeur à une époque où l'on contestait la possibilité de prendre appui sur l'air, et où l'on attribuait le vol des oiseaux à des causes extraordinaires, telles que la chaleur de l'air contenu dans leurs os (aujourd'hui, la chaleur a fait place à l'électricité, voire même à la radio-activité) ! A ces explications qui n'en sont pas, combien je préfère la naïve croyance

Que l'aile a son secret, et l'oiseau son mystère,

mystère qui d'ailleurs se dévoile peu à peu : car si nous ne nous expliquons pas dans tous ses détails le mécanisme du vol des oiseaux, pas plus du reste que celui de tout autre mode de locomotion animale, nous commençons à concevoir quelle en est l'économie générale.

Toutefois, l'intérêt du petit aéroplane de Pénaud n'est que relatif, car les difficultés du vol mécanique croissent beaucoup avec les dimensions du volateur : en effet, la puissance nécessaire est proportionnelle à $P \sqrt{\frac{P}{S}}$. Je rappellerai donc seulement pour mémoire l'aéroplane à air comprimé, du poids de 1 750 g,

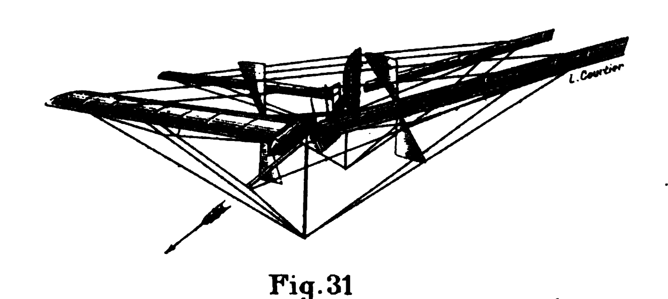


Fig. 31

expérimenté en 1879 par M. Tatin, et l'aéroplane de 13 kg du professeur Langley, expérimenté en 1896 *(fig. 31)*. Ce dernier vaut cependant une mention spéciale, en ce qu'il détient, par 1 200 m, le record de distance des aéroplanes non montés ; il

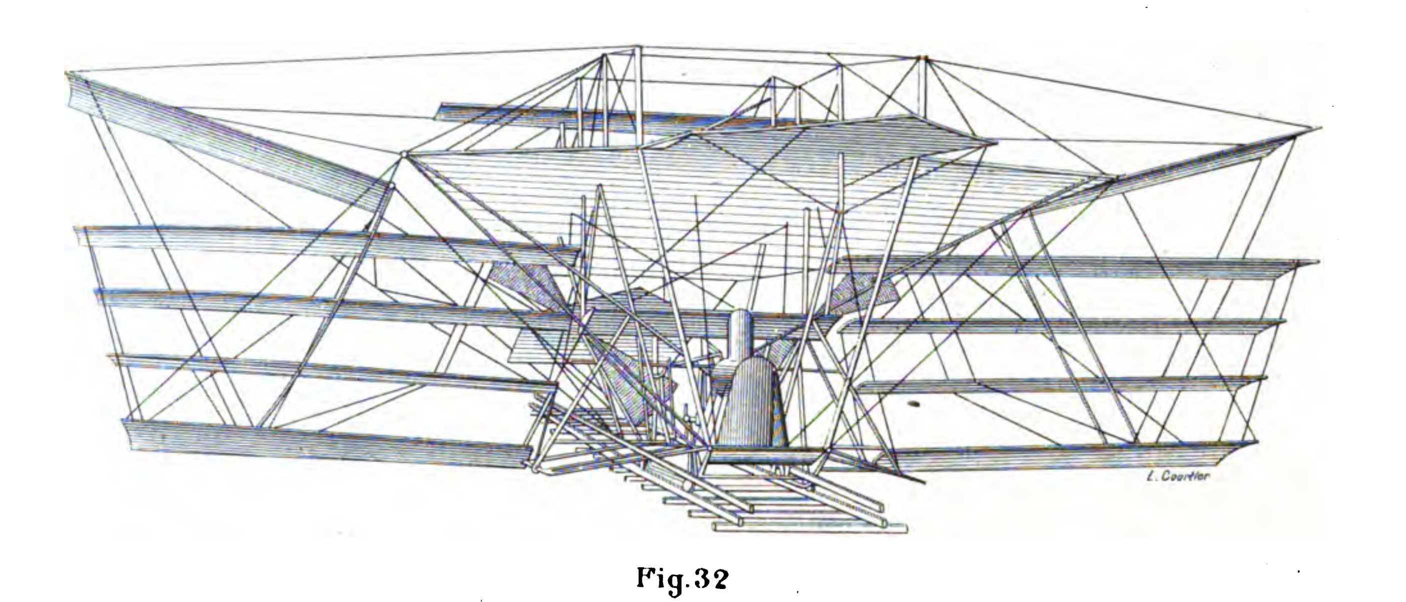


Fig. 32

était formé de deux paires d'ailes en tandem, avec moteur à vapeur de 1 ch actionnant deux hélices : cette disposition de la voilure, qu'on appelle souvent type Langley, n'appartient pas au savant professeur de l'Institut Smithson ; l'Anglais Brown l'avait expérimentée en 1874 sur quelques modèles.

Tandis que quelques aviateurs s'essayaient sur des aéroplanes-oiseaux, d'autres s'attaquaient à des constructions plus vastes, et parfois tout à fait hors de proportion avec les résultats alors accessibles, étant donné le poids de leur puissance motrice.

Tels furent, notamment, les aéroplanes de sir Hiram Maxim, le célèbre constructeur de canons, qui dépensa plus de 1 million de francs dans ses essais, de 1889 à 1891. Je remets sous vos yeux (*fig. 32*) (1) le dernier type auquel il s'arrêta et qui pesait 2.600 kg en ordre de marche, dont 950 kg pour l'aéroplane, 1.440 kg pour le moteur et ses approvisionnements, et le reste pour le poids utile. C'est la plus gigantesque machine volante qui ait été construite. Avec ses 30 m d'envergure et sa hauteur d'une dizaine de mètres, elle avait les dimensions d'une maison. Elle nous a valu la création d'un moteur à vapeur extrêmement remarquable, dont je vous ai longuement entretenus autrefois : grâce à un ingénieux mécanisme, la chaudière, chauffée à la gazoline par 45.000 becs, produisait instantanément la quantité de vapeur strictement nécessaire pour maintenir l'aéroplane à une hauteur déterminée. Le poids par cheval était de 14 kg, poids qui parut à l'époque tellement réduit que beaucoup d'ingénieurs le mirent en doute ; il était cependant encore trop grand pour que l'appareil pût s'enlever, malgré son énorme surface, qui était de 510 m² pour la voilure principale, et 112 m² pour les voilures auxiliaires. Pour nous rendre compte de cette impossibilité, prenons la formule que j'ai établie pour le *maximum absolu* du poids utile P_u (page 120):

$$P_u = \frac{340\ S}{\pi^2} - P_a,$$

où P_a est le poids de l'aéroplane proprement dit, S la surface sustentatrice, et π le poids par cheval ; 340 est, du reste, un coefficient favorable, qui n'a certainement pas été atteint avec l'appareil Maxim, lequel présentait une résistance à l'avance-

(1) Cette figure est extraite de ma Communication de 1897.

ment très élevée, comme on peut s'en rendre compte par un simple coup d'œil sur la figure. En admettant que la totalité de la voilure ait été sustentatrice, $\frac{340\ S}{\pi^2}$ est égal à 900 kg, poids inférieur aux 950 kg que pesait l'aéroplane sans le moteur ni les passagers : on arrive ainsi à un poids utile P_u négatif. Aussi, l'aéroplane Maxim ne réussit-il pas à s'enlever. L'inventeur prétend bien qu'il se serait soulevé entre la double voie de rails superposés qui guidaient les galets de roulement : ce soulèvement est contesté ; en tout cas, il n'a pu être qu'éphémère, lorsque la voilure présentait momentanément une inclinaison particulièrement favorable. Cet exemple montre, de la façon la plus nette, l'influence de la légèreté du moteur, encore plus considérable qu'on ne l'imagine d'ordinaire.

En 1890, un autre Ingénieur réputé, M. Clément Ader, bien connu par ses remarquables inventions en téléphonie, et qui se consacrait depuis huit ans à de nombreuses recherches d'aviation, expérimenta son type d'aéroplanes, auxquels il donnait le nom générique d'avions. Adepte fervent de l'imitation de la nature, il avait étudié minutieusement les ailes des oiseaux et demandé à l'anatomie les secrets des volateurs. Son choix se fixa sur la voilure des grandes chauves-souris de l'Inde, qu'il chercha à imiter par une charpente à articulations multiples et inutilement compliquée. Le 9 octobre 1890, le premier avion, l'*Eole*, portant son inventeur, se serait envolé sur une distance de 50 m, avec la seule ressource de sa force motrice : cette expérience eut lieu sans autres témoins que M. Ader et ses aides ; d'ailleurs, le générateur subit une avarie grave. L'année suivante, le générateur était refait et perfectionné, et les expériences recommencèrent au camp de Satory : un parcours de 100 m aurait été effectué, mais l'insuffisance de la stabilité provoqua la chute et la rupture de l'appareil. Néanmoins, les autorités militaires jugèrent avec raison que ces travaux étaient des plus intéressants; un atelier fut installé, avec le patronage de M. de Freycinet, ministre de la Guerre, puis de ses successeurs; de 1891 à 1897, on y travailla à de nouvelles études, projets et constructions. Un avion n° 2 à une hélice fut construit, puis un avion n° 3 à deux hélices, lequel fut expérimenté à Satory, le 14 octobre 1897, devant les délégués du ministre de la Guerre. On a beaucoup discuté les résultats de cette expérience, qui

aurait fourni un vol de 300 m, terminé par une chute où se brisa l'appareil. Si le fait est exact, — et il le semble bien, — il donne à un Français l'honneur de s'être élevé le premier de terre par ses propres moyens, sans appareil spécial de lancement (et cela est important pour un vol éphémère), avec un aéroplane sinon stable, du moins ayant des qualités sustentatrices indubitablement suffisantes. Il serait donc désirable que fût publié le Rapport officiel de la Commission, remis au Ministre par son Président, M. le général Mensier, directeur du génie, au lendemain de l'expérience : cette publication n'aurait sans doute aucun inconvénient aujourd'hui, et fixerait un point d'histoire qui semble tout à l'honneur de notre pays. A défaut d'un document officiel, citons un extrait d'une lettre à M. Ader d'un des rares témoins, M. le lieutenant du

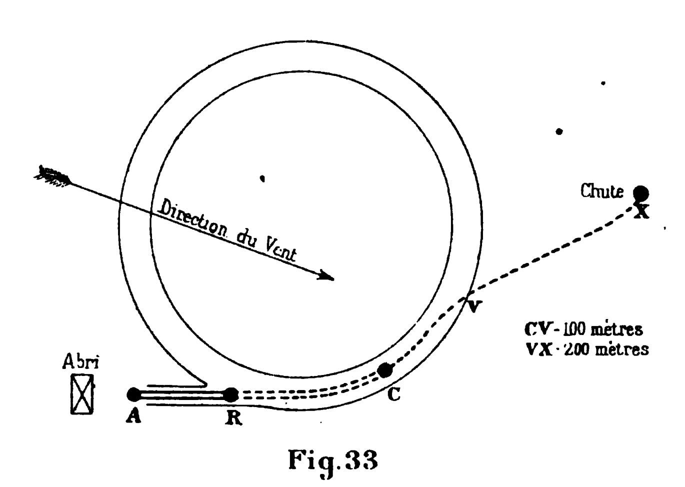


Fig.33

genie Binet, qui avait été chargé de faire préparer la piste circulaire *(fig. 33)* sur laquelle roulait le chariot portant l'aéroplane. « Nous constatâmes que les traces des roues, bien visibles en AR, devenaient de plus en plus légères, et il arriva un moment où nous perdîmes d'abord la trace de la roue arrière, puis peu à peu celle des deux autres roues. Elles ne reparaissaient plus ensuite qu'au point de chute de l'appareil. Je relevai même, sur votre demande, avec votre Ingénieur, les traces des roues sur le sol, et nous en fîmes un croquis. Mon opinion très nette, à la suite de ces expériences, a été et est encore la suivante : l'avion n° 3 semblait posséder tout ce qu'il fallait pour voler, c'est-à-dire pour se soulever d'abord et pour se diriger ensuite, mais, sans parler des inconvénients d'une piste circulaire et simplement en

terre battue, il manquait surtout à l'avion un pilote sachant le manœuvrer après avoir quitté le sol, et c'est, à mon avis, le point difficile (1). »

On peut voir aujourd'hui cet aéroplane suspendu à la voûte de la chapelle du Conservatoire des Arts et Métiers *(fig. 34)*. La voilure, d'une envergure de 15 m, était remarquable par l'ingéniosité des détails, et par les difficultés de sa construction, qui demanda plusieurs années; elle donna, somme toute, des résultats inférieurs à une simple voilure fixe, complétée par les surfaces auxiliaires mobiles auxquelles les aviateurs demandent

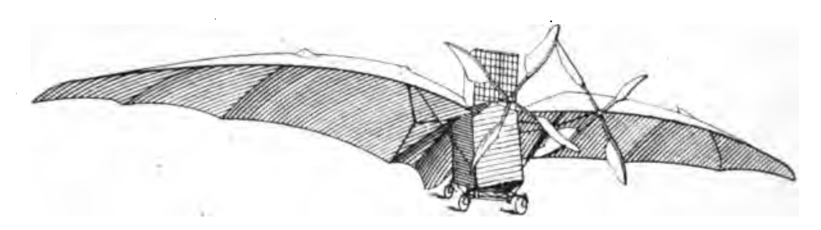


Fig. 34

généralement aujourd'hui les déplacements nécessaires au cours des évolutions. L'aéroplane en ordre de marche pesait 500 kg environ. Le moteur de 30 ch, avec condenseur et générateur de vapeur très léger, actionnait une hélice dont les ailettes étaient des manières de plumes artificielles : imitation d'autant moins logique que l'inventeur avait abandonné la propulsion par ailes battantes pour la propulsion par un appareil mécanique, qu'il convenait d'exécuter suivant les règles de construction qui lui sont propres. Ce sont là des erreurs dont l'expérimentation continue se fût sans doute bien vite chargée d'affranchir l'inventeur. Aussi est-il profondément regrettable que, malgré l'avis formel du général Mensier, le ministre d'alors, bien mal inspiré, ait estimé qu'il ne pouvait continuer les crédits.

En 1893, c'est-à-dire entre les essais des deux avions, M. Horatio Phillips avait expérimenté, sur une piste circulaire, un appareil où la surface sustentatrice se composait de cinquante lames de persiennes placées sur un cadre vertical en acier de 3 m de hauteur et 7 m d'envergure *(fig. 35)*. Ces lames en bois, d'une largeur de 4 cm et d'une épaisseur variable ne dépassant

(1) C. Ader. *La première étape de l'Aviation militaire en France.*

pas 3 mm, avaient un galbe déterminé à la suite de nombreux essais de laboratoire, de façon que la réaction fût verticale. L'idée ne manque pas d'ingéniosité ; mais un tel appareil a une stabilité longitudinale précaire, et devient dangereux dès que l'équilibre est compromis ; il aurait fallu ajouter une voilure auxi-

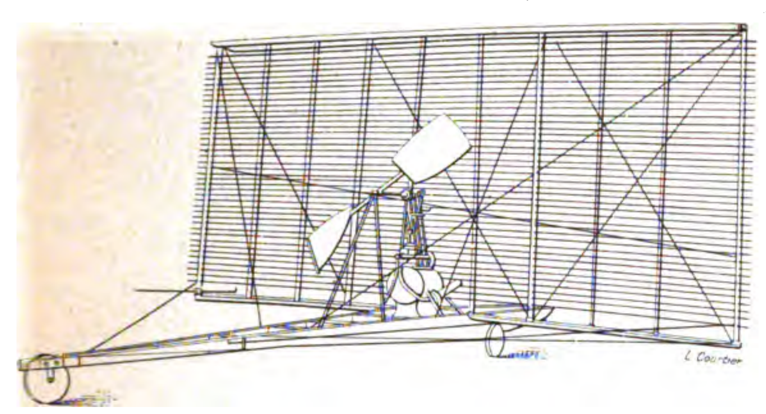


Fig. 35

liaire susceptible de former un aéroplane-parachute, c'est-à-dire, en somme, recourir à un système mixte pour écarter le danger. Le poids total était de 150 kg, avec une machine à vapeur de 5 ch et demi, ce qui eût pu être suffisant avec un appareil non monté suffisamment stable.

En 1903, sept ans après les essais de son remarquable aéroplane-oiseau, Langley acheva un aéroplane capable de porter un homme : l'appareil, toujours à voilures en tandem, n'offrait aucune particularité nouvelle. Projeté au dessus du Potomac à l'aide d'un système de puissants ressorts, il ne parcourut que les 30 m dus à cette vitesse initiale, et tomba dans le fleuve avec le professeur Manley, qui le montait. Cet insuccès, qui n'était dû peut-être qu'à l'inexpérience du pilote, arrêta les subsides de l'État, malgré la notoriété de l'inventeur, dont les travaux en Aérodynamique étaient justement célèbres. Un tel abandon fait pendant à celui d'Ader. Au reste, il est piquant de remarquer que les Américains, qui revendiquent bien haut aujourd'hui la gloire d'avoir possédé la première machine volante, croyaient si peu à sa réalisation qu'ils ne prêtaient aucune attention aux expériences, commencées depuis trois ans, d'aviateurs qui allaient acquérir une notoriété mondiale : les frères Wright.

Glissades d'aéroplanes montés sans moteur.

Entre temps, des expériences d'un tout autre ordre étaient faites avec des aéroplanes sans moteur, mais portant un pilote qui s'entraînait, par des glissades, à son métier d'oiseau. Les essais d'Ader et de Langley semblaient rendre de telles expériences très désirables, pour la recherche des moyens propres à assurer la tenue de l'aéroplane dans l'air. Bien qu'elles aient été pratiquées déjà par Le Bris, c'est à Otto Lilienthal que revient le mérite d'en avoir fait une méthode qui eut une influence certaine sur la réussite du grand problème, encore qu'on lui ait donné une signification et une portée qui ne cadrent pas avec les propres idées de son auteur.

Constructeur à Berlin, Lilienthal commença par consacrer de longues années à étudier les ailes des oiseaux, comme avait fait Ader, et à expérimenter l'action du vent sur des surfaces de formes diverses, comme avait fait Langley. Il résuma ses recherches dans un ouvrage, sous forme d'axiomes qui n'offrent plus qu'un intérêt rétrospectif, car certains sont contestables, et les autres sont beaucoup mieux connus aujourd'hui (1). Puis, de 1891 à 1896, il construisit divers aéroplanes, avec lesquels il n'exécuta pas moins de deux mille glissades.

Son premier appareil, avec lequel il prétendait imiter le vol à voile, avait une voilure rappelant les ailes des planeurs. Il se composait essentiellement (*fig. 36 et 37*) de deux surfaces légèrement concaves vers le sol, raccordées du milieu jusqu'à l'arrière, mais séparées à l'avant par une large échancrure où se plaçait le pilote. Elles étaient constituées par une ossature en osier recouverte de toile. A l'arrière se trouvaient deux petits gouvernails horizontaux analogues à la queue des oiseaux, et, un peu plus loin, un grand gouvernail de direction. La surface totale était de 14 m², le poids de 20 kg. Lilienthal se plaçait dans l'échancrure, et se lançait contre le vent; dès que l'aéro-

(1) *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*, 1889.
Voici quelques-uns de ces axiomes, qui nous montrent dans quel esprit le célèbre aviateur poursuivait ses recherches :
Par vent calme, le vol de l'homme exige une puissance d'au moins 1,5 cheval-vapeur. — Par vent moyen, la force musculaire de l'homme suffit à mettre en mouvement un appareil à surface sustentatrice appropriée. — Par vent de plus de 10 m.-s., le planement de l'homme, sans dépense d'énergie, est possible.

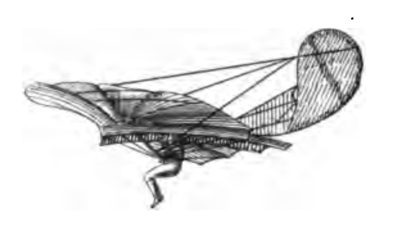


Fig. 37



Fig. 36

plane partait, il se laissait glisser, ses mains tenant solidement une barre transversale, tandis que ses jambes allaient vers l'avant ou vers l'arrière, pour déplacer convenablement le centre de gravité du système. Dans ses deux dernières années d'essais, il fut amené à abandonner la forme oiseau : la voilure, portée à 24 m², comprenait d'une part deux grandes ailes latérales mesurant 16 m d'envergure *(fig. 38)*, d'autre part une surface supérieure arrondie et incurvée. A l'arrière, un plan horizontal et un plan vertical réunis à l'extrémité d'un long bambou formaient double

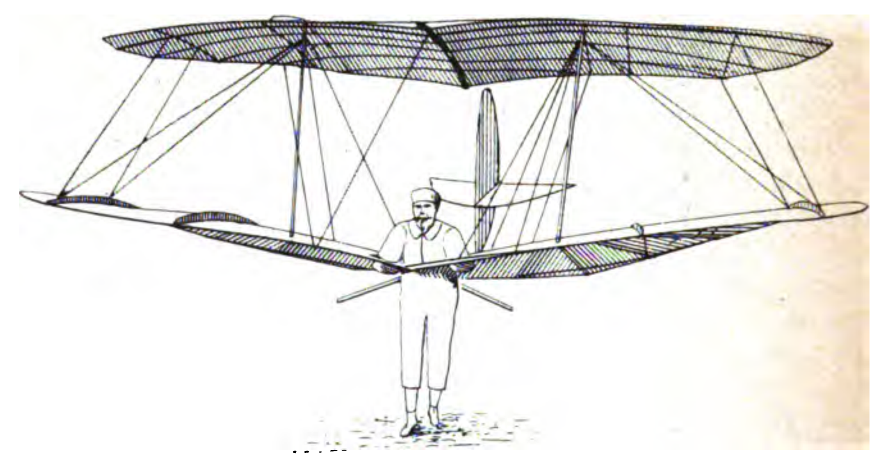


Fig.38

gouvernail. Ces modifications ont été critiquées à l'époque, sans doute parce que ce fut avec ce dernier appareil que Lilienthal trouva la mort. En vous en entretenant, dès 1897, j'exprimais au contraire l'avis qu'elles étaient judicieuses, et, de fait, ce sont elles qui depuis ont conduit les Américains au type biplan, avec lequel ils ont si parfaitement réussi.

Dans ses premiers essais, Lilienthal s'élançait de la plate-forme d'une tour dominant de 10 m un tumulus situé dans une plaine des environs de Berlin. Il put ainsi descendre sous un angle de 15 à 20 degrés. Plus tard, il se jetait d'une colline de 80 m. Il partait toujours contre le vent, et comme celui-ci, à cause de la colline, était plus ou moins ascendant, l'aéroplane réussit parfois à gagner en hauteur pendant les premiers instants; puis, la pesanteur prenant le dessus, il descendait suivant une trajectoire inclinée, et put ainsi atterrir jusqu'à 250 m de son point

de départ. Évidemment, c'était de la gymnastique, mais c'était aussi de la bonne expérimentation pour observer les conditions d'équilibre et de stabilité, continuellement menacées par les variations dans la force et la direction du vent. Ces caprices du vent que Lilienthal voulait asservir eurent un jour leur revanche : le pilote ne réussit pas à contre-balancer une forte embardée qui inclina la voilure de telle sorte qu'elle était frappée en dessus : l'aéroplane fut précipité vers le sol, contre lequel il vint piquer, et le hardi expérimentateur fut tué.

J'ai écrit, il y a onze ans, que l'appareil de Lilienthal était « un parachute spécial, habilement construit et audacieusement employé, qui démontre l'utilité de la voilure dans les descentes suivant des plans très inclinés (1) » ; les larges voilures faisaient en effet défaut à quelques projets présentés alors, comme celui de Phillips. Cette qualification de parachute a été critiquée : elle est néanmoins rigoureusement exacte. L'appareil de Lilienthal n'a jamais été un planeur tel que le voulait son inventeur, qui prétendait imiter les voiliers. Ignorant la cause du vol à voile, il était convaincu qu'il pourrait se soutenir en n'utilisant que le vent, dès qu'il aurait acquis les réflexes nécessaires : idée que fortifia dans son esprit l'utilisation du vent ascendant qu'il trouvait aux flancs de la colline ; mais, en général, les vents ascendants sont des phénomènes localisés, et ne sauraient constituer la cause systématique du vol à voile. Cette idée a été reprise récemment par un savant de mérite, M. Marcel Deprez. Ce qui est possible théoriquement, c'est de capter la puissance vive des vagues aériennes, comme font les voiliers : mais cette utilisation, très séduisante à l'époque où l'on n'avait pas de moteur suffisamment léger pour l'Aviation, est autrement difficile que le vol mécanique lui-même aujourd'hui que nous avons ce moteur. Plus celui-ci s'allégera, moins elle aura d'utilité pratique. Véritablement, ce ne peut être qu'un tour de force, et non une chose rationnelle, que de se priver d'un moteur le jour où son poids s'est réduit pour ainsi dire à rien !

Ainsi donc, si Lilienthal n'employa pas de moteur, ce n'était pas, comme on l'a cru, pour commencer à apprendre à voler avant de recourir à la puissance mécanique ; et lorsque, vers la fin de sa carrière, il pensa à mettre un moteur à bord, ce fut à

(1) *Le Problème général de la Navigation aérienne*, 1897.

son corps défendant, parce qu'il lui avait bien fallu reconnaitre l'insuffisance des courants, et qu'il croyait que quelques chevaux, 2 à 3, suppléeraient à cette insuffisance. On doit à la vérité historique de remarquer que les originales expériences de Lilienthal sortirent d'une idée peu pratique, mais de proclamer qu'elles eurent néanmoins une heureuse et décisive influence. C'est qu'elles venaient à leur heure. Jusqu'alors, en effet, Maxim, Ader, Langley, avaient porté le plus gros de leur effort sur la sustentation, se fiant trop, pour la stabilité, à des propriétés statiques alors insuffisantes pour l'assurer automatiquement. Avec les perpétuels mouvements de l'air, la stabilité était, tout au contraire, fort difficile à obtenir, par simple déplacement du centre de gravité, pour des appareils à faible vitesse propre. Il est même très remarquable que Lilienthal soit parvenu à la réaliser, dans la plupart des glissades, à l'aide du déplacement de ses jambes et de manœuvres instinctives de la voilure et des gouvernails. Ces glissades lui ont du moins permis, ainsi qu'aux expérimentateurs qui suivirent, de se convaincre, après d'autres, du pouvoir porteur de cet air qu'ils voulaient conquérir.

La méthode de Lilienthal, à laquelle on ne prêta au début qu'une attention médiocre, sinon dédaigneuse, a été depuis vantée par certains au point qu'ils ont fait du célèbre aviateur allemand l'un des péres de l'Aviatión, car vous n'ignorez pas que la nouvelle venue a des pères nombreux. Cette méthode ne mérite ni cet excès d'honneur, ni l'indifférence du début. Je crois l'avoir jugée impartialement, et me résume en disant qu'elle doit tenir une place importante dans l'histoire de l'aéroplane, surtout en raison de son opportunité. Aujourd'hui, on ne lui demandera même pas de former des aviateurs, car, avec les aéroplanes très suffisamment stables qu'on sait construire actuellement, les apprentis pilotes auront mieux à faire qu'à s'exercer à des glissades.

Lilienthal fit école, non point dans son pays, mais en Angleterre, avec Pilcher, et surtout aux États-Unis, puis en France. Notre collègue M. Chanute, ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils à New-York, et de la Société des Ingénieurs de l'Ouest à Chicago (1), vanta l'intérêt de ces glissades, et, comme

(1) Le journal *Le Matin* annonce qu'Octave Chanute est de nationalité française ; il est né à Paris, en 1831, de parents français.

on contestait son opinion, il prit une résolution bien américaine : refaire, malgré son âge, les expériences de Lilienthal. Il essaya d'abord lui-même le type monoplan de ce dernier, puis confia à ses assistants, MM. Herring et Avery, le soin d'expérimenter d'autres formes. Ce furent d'abord un multiplan, qui accusa trop de résistance; puis un triplan, dont on dut supprimer la surface inférieure, trop près du sol : on arriva ainsi au biplan; M. Chanute, constructeur de ponts, l'entretoisa rationnellement, tandis que M. Herring apporta un perfectionnement à la queue stabilisatrice de Pénaud, en la rendant mobile autour d'une liaison élastique constituée par un ressort permettant un déplacement limité vers le bas, mais illimité vers le haut. Ce type d'aéroplane, devenu classique, se montra léger, compact, assez stable, bien en main, et fut un succès : plus de 700 glissades eurent lieu sous des angles de 8 à 10 degrés.

Peu après, en octobre 1900, deux constructeurs de cycles de Dayton, MM. Wilbur et Orville Wright, commencèrent des essais analogues, et passèrent bientôt maitres dans l'art des glissades longues et hardies. Ils étudiaient depuis quelques années les écrits sur l'Aviation, et avaient lu les travaux de Langley, de Lilienthal et de Chanute. Ce dernier, qu'ils connurent en 1901, les encouragea et s'intéressa à leurs recherches de laboratoire : car les frères Wright se livrèrent à de nombreuses expériences sur les formes de voilure, sur la mesure des réactions et la détermination du centre de pression; ils constatèrent la grande influence de la courbure, et reconnurent, après Goupil et Lilienthal, la possibilité d'obtenir une contre-résistance à l'avancement, pouvant compenser la résistance à la translation de la poutre que forme le biplan. Partis du type de Chanute, les Wright supprimèrent bientôt la queue, et demandèrent l'équilibre à un nouvel organe tout différent : le gouvernail de profondeur, qu'ils placèrent à l'avant. Au lieu de courir pour rester debout après le lancer, ils s'allongeaient horizontalement sur le plan inférieur, ce qui nécessitait l'intervention de deux aides au départ : mais la résistance que le pilote offrait au vent était moindre, et le moment d'inertie longitudinal plus élevé. Les premiers biplans affectaient la forme de dièdres à arête tournée vers le sol, disposition à laquelle la plupart des aviateurs attribuaient une excellente stabilité transversale : j'ai signalé depuis longtemps que, transversalement du moins, ce dispositif est surtout efficace en chute; les frères Wright reconnurent

qu'en équilibre la forme en dièdre est dangereuse avec des embardées par travers. Enfin, dès la première année, ils assurèrent la stabilité latérale, d'une part avec de grandes envergures et un moment d'inertie transversal plus élevé, d'autre part avec les gauchissements de la voilure.

Leurs glissades se firent aux dunes de Kitty Hawk, dans la Caroline du Nord, de 1900 à 1903. Quand ils se sentirent bien maîtres de leur appareil, au point de réussir parfois à utiliser des courants ascendants, ils décidèrent d'en doubler la surface pour installer un moteur à bord. Ils parvinrent ainsi, en décembre 1903, à exécuter leurs premiers vols mécaniques dans les conditions que j'indiquerai tout à l'heure.

En 1899, entre les expériences de Chanute et les premiers essais des Wright, le capitaine Ferber, dont j'ai eu l'occasion de

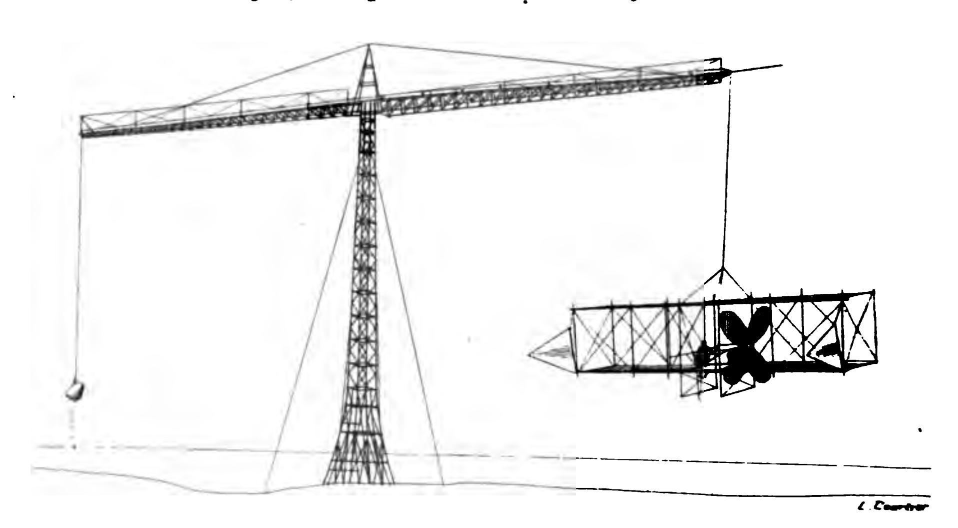


Fig. 39

citer les travaux théoriques sur la stabilité automatique des aéroplanes, introduisit en France la méthode expérimentale des glissades. Après des essais sur des appareils peu satisfaisants, il adopta en 1902 le type américain ; puis, en 1903, il expérimenta un aéroplane à moteur placé sur un manège formé par un pylône de 18 m de hauteur, portant une poutre horizontale de 30 m mobile en son milieu *(fig. 39)* : mode d'expérimentation coûteux, mais fort intéressant à l'époque. Toutefois, les résultats furent médiocres, parce que la force sustentatrice était insuffisante.

En 1904, d'autres essais furent tentés, notamment à Berck, par M. Archdeacon, dont l'aéroplane fut monté par M. Ferber et par M. Voisin, qui apprenait expérimentalement les desiderata de l'Aviation avant d'entreprendre la construction de ses aéroplanes, remarquables à tant d'égards.

Mais, en vérité, la méthode des glissades avait fait son temps, du moins comme procédé d'apprentissage du vol, et l'attention allait se porter sur des expériences autrement sensationnelles. Il n'en est pas moins vrai que le résultat mémorable obtenu par les Wright en décembre 1903 et ceux qu'allaient obtenir les aviateurs français doivent être portés, pour une part, à l'actif de cette méthode et, pour une autre part, à l'actif des résultats obtenus, par ailleurs, dans l'allégement de la puissance motrice.

Où les glissades peuvent rendre encore des services, c'est pour la détermination des caractéristiques techniques des aéroplanes. Je ne reviendrai pas sur ce procédé élégant, que j'ai longuement exposé dans la première Partie. Je me contenterai de rappeler que Pénaud en avait fort bien saisi le principe, en calculant K par les glissades des oiseaux : calcul d'un grand intérêt à l'époque, car il était bien fait pour donner confiance dans le pouvoir porteur de l'air. Les conséquences de ce procédé de mesure ont été développées et élargies par le colonel Renard et par le capitaine Ferber; peut-être aurez-vous la bienveillance d'estimer que le présent Mémoire apporte à ce sujet quelque contribution.

Le Mouvement vers l'Aviation.

Alors que les frères Wright en étaient encore à leurs expériences de glissades avec aéroplanes sans moteur, M. Chanute, l'apôtre de cette méthode depuis la mort de Lilienthal, fit, au printemps de 1903, un voyage en Europe, où il eut l'occasion de visiter les principales associations qui s'occupaient de navigation aérienne. Comme il m'avait fait l'honneur de m'écrire plusieurs fois au sujet de ma théorie du vol à voile, je tins à assister à la séance de notre Commission permanente internationale d'Aéronautique, où, sous la présidence du colonel Renard, il nous exposa ses essais et ceux des frères Wright.

Je me rappelle encore l'ardeur de ce robuste vieillard, nous exprimant sa conviction que les temps étaient proches. Il prêchait d'ailleurs des convaincus : car si nous étions, pour la plupart, des partisans de l'utilisation immédiate des ballons dirigeables — et l'avenir nous a donné raison, — nous savions que les nouvelles théories d'Aérodynamique, patiemment mises d'accord avec les observations, et l'allégement extrêmement rapide des moteurs montraient la possibilité d'établir des aéroplanes dans un avenir très prochain.

M. Chanute fit aussi, à l'Aéro-Club de France, une conférence qui obtint le plus légitime succès. Peu de temps après, la Commission technique de locomotion aérienne nommait une Sous-Commission d'Aviation, d'où est sortie la très active Commission actuelle, qui organise, réglemente et contrôle les expériences dont vous êtes les témoins attentifs. Au premier rang des techniciens qu'elle comprenait, il convient de citer son illustre Président, le colonel Renard; elle avait aussi des hommes de propagande et d'action, comme M. Ernest Archdeacon (1). Celui-ci, convaincu par l'exemple du prodigieux développement de l'automobile que les concours sont le meilleur moyen d'éveiller et de stimuler l'émulation, d'entretenir l'intérêt de la presse et du public, fonda une Coupe, puis, peu après, un Grand Prix de 50 000 f en participation avec un autre Mécène de la navigation aérienne, notre collègue M. Deutsch de la Meurthe. Ce sont là, Messieurs, des initiatives généreuses et fécondes qu'il convient de saluer; et j'ai grand plaisir à ajouter à ces noms ceux de nos collègues MM. J. Armengaud, A. et E. Michelin; M. Armengaud a créé un Prix de 10 000 f pour l'aviateur réalisant le premier un quart d'heure de vol mécanique continu; d'autre part, les deux grands industriels clermontois ont mis à la disposition de l'Aéro-Club de France des prix magnifiques, dont le montant atteint 260 000 f.

Le colonel Renard apporta au mouvement qui se dessinait l'impulsion de sa compétence, de son autorité et de son prestige; à ce point de vue, il faut citer la Note qu'il publia, fin 1903, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Note où il établissait la possibilité pour l'homme de voler en aéroplane avec

(1) Elle était ainsi composée au début : Président : colonel Renard; membres : MM. Balsan, Besançon, Drzewiecki, Hervé, commandant Paul Renard, Soreau et Tatin; secrétaire, M. Archdeacon. Son bureau actuel est ainsi formé : Président : M. R. Soreau; Vice-Présidents : MM. R. Esnault-Pelterie et L. Blériot; Secrétaire : M. le capitaine Ferber.



un système moteur-propulseur pesant 7 kg par cheval, bien entendu sous la réserve que l'appareil eût une stabilité suffisante. Je rappellerai ici que le premier appareil aéronautique construit par le savant officier fut un petit aéroplane à lames mobiles superposées, expérimenté à Arras en 1873, onze années avant le dirigeable *La France*. Le chef incontesté de l'Aéronautique française n'aura vu se réaliser que l'une des deux solutions de ce grand problème de la navigation aérienne, qu'il a si puissamment contribué à poser sainement et à résoudre; nous devons à sa mémoire de constater que son intervention, si sagement éclectique, fit plus pour l'Aviation que les démonstrations bruyantes de ceux qui soutenaient la bonne cause par des arguments parfois bien compromettants, et de ceux qui, passionnément exclusifs, n'avaient jamais voulu entendre parler des appareils à vessie, ainsi qu'ils appelaient dédaigneusement les dirigeables, sans penser que cette vessie est aussi une bouée de sauvetage qui n'est pas sans faire défaut à l'aéroplane.

La Note citée du colonel Renard permettait de prendre confiance, d'autant qu'elle n'avait rien d'absolu : elle supposait même que l'on réservait au système moteur-propulseur le quart seulement du poids total, alors qu'on pouvait évidemment lui faire, au début, une part plus grande s'il était nécessaire. Mais, précisément, en cette fin de l'année 1903, les rapides progrès de l'industrie automobile venaient de réaliser des moteurs remplissant très sensiblement les conditions requises. Ainsi donc, dès cette époque, on pouvait trouver presque couramment le moteur depuis si longtemps attendu, et, en tout cas, il suffisait de quelque effort d'adaptation pour l'obtenir, alors que, une dizaine d'années plus tôt, Ader et Maxim avaient dû dépenser des sommes considérables et une ingéniosité digne d'un meilleur sort pour construire des moteurs beaucoup moins légers. Puisque le succès dépendait surtout du moteur, qui fut apporté à l'Aviation par des progrès dont la plupart furent obtenus autour d'elle et en dehors d'elle, il faut bien reconnaître qu'elle ne réalisa en ce sens aucune de ces découvertes décisives faisant subitement passer le rêve dans le domaine de la réalité, ainsi que l'histoire des inventions nous en fournit des exemples. Comme je le constatais au début, l'aéroplane n'est donc pas l'œuvre exclusive de quelques-uns; il est aussi le fruit d'une collaboration ignorée et obscure, fruit qui se détacha naturellement de l'arbre le jour où il fut mûr. Le mérite et l'importance des longues et nom-

breuses recherches d'ordres divers qui préparèrent sûrement le succès n'en sont peut-être que plus réels.

Une des premières décisions de la Sous-Commission d'Aviation fut de faire construire un aéroplane. Sur les indications du colonel Renard, elle se rendit à Chalais, afin de se mettre en rapport avec un habile contremaître, M. Dargent, pour la construction d'un appareil genre Wright, qu'elle avait résolu de prendre comme point de départ de ses expériences. Il est bien regrettable que, pour diverses causes, ces recherches impersonnelles n'aient pas été poursuivies, et je suis persuadé qu'elles auraient rapidement abouti à d'excellents résultats. A cette époque, en effet, notre industrie était, sans conteste, la plus apte à créer des moteurs légers, assurément comparables à celui qu'employèrent les frères Wright dans leur premier vol de fin 1903. Les efforts se dispersèrent. Des glissades furent faites à Berck-sur-Mer par MM. Archdeacon et Voisin, et à Chalais par le capitaine Ferber, en présence du colonel Renard qui s'intéressa d'autant plus vivement à ces essais qu'ils permettaient de déterminer expérimentalement des caractéristiques importantes pour la technique du vol. D'autre part, des expériences de stabilité furent réalisées par le remorquage d'un aéroplane à l'aide d'un moto-canot, par M. Archdeacon et M. Blériot, puis à l'aide d'un automobile, par M. Esnault-Pelterie. Mais on s'attarda peut-être trop à ces préliminaires.

Néanmoins le mouvement était créé; il prit en France une ampleur croissante, que nul autre pays n'a connue, et qui certainement décida M. Wilbur Wright à transporter chez nous le champ de ses célèbres expériences.

Vols d'Aéroplanes montés a moteur.

Wilbur et Orville Wright en Amérique. — Les glissades de Kitty Hawk, exécutées de 1900 à 1903, furent couronnées par un vol mécanique sensationnel. Dans un Rapport présenté le 12 mars 1906 à l'Aéro-Club d'Amérique à New-York, et complété depuis (1), les frères Wright affirment que, le 17 décembre 1903, leur appareil volant à moteur, portant un homme, réussit quatre vols en présence de cinq personnes : le premier fut de 12 secondes, le

(1) Traduction du commandant Ferrus: *Les expériences d'Aviation des frères Wright*, 1907.

deuxième et le troisième furent un peu plus longs, le troisième dura 59 sec., avec un parcours de 260 m contre un vent de 9 m par seconde ; l'atterrissage fut des plus doux, ce qui prouvait une bonne stabilité. Ce sont les premiers *vols* mécaniques de l'homme, le vol impliquant, à mon sens, un appareil stable, ce qui n'était pas le cas de l'avion d'Ader.

MM. Wright transportèrent alors leur matériel à Dayton, dans l'Ohio, pour y poursuivre des expériences où ils pourraient mettre à profit l'incontestable maîtrise que leur avait donnée un entraînement de trois années. S'isolant plus que jamais, exécutant leurs vols dans le plus grand secret, ils les cachèrent même à la mission que le Gouvernement français avait envoyée à Dayton, pour négocier avec eux l'achat de leur appareil. Les résultats qu'ils obtinrent ne furent guère connus que par un intéressant article de l'*Aérophile* (1), et par leur très bref Rapport de 1906 cité plus haut. C'est en septembre 1904 seulement qu'ils réussirent les premiers virages, et firent un vol circulaire de 4.800 m. Jusqu'en septembre 1905, les envolées furent toujours de courte durée ; mais, à cette époque, ils trouvèrent d'importants perfectionnements, sur lesquels ils s'exprimèrent dans un style quelque peu sybillin : « Vers le milieu de septembre, écrivaient-ils, on trouva les moyens de remédier aux difficultés restées jusque-là obscures, et l'aéroplane put enfin être dirigé d'une façon satisfaisante. Depuis ce moment, presque chaque sortie établit un nouveau record. Dans le tableau ci-après, nous indiquons les durées, les distances parcourues et les causes d'arrêt pour quelques-unes des dernières sorties.

Date	*Distance parcourue*	*Durée*		*Cause des arrêts*
—	—	—		—
26 septembre	17 961 m	18 min.	9 sec.	Panne de combustible
29 »	19 570	19	55	»
30 »		17	15	Échauffement de coussinet
3 octobre	24 535	25	5	»
4 »	33 456	33	17	»
5 »	38 956	38	3	Panne de combustible.

« ... Dans les trois dernières années (1903, 1904 et 1905), nous avons exécuté un total de 160 vols, avec nos aéroplanes à moteur ; mais, tant que notre appareil n'eut pas reçu ses derniers perfectionnements, les expériences furent très courtes, et le vol du 5 octobre fut plus long, à lui seul, que les 105 vols de

(1) *Aérophile*, décembre 1905.

1904 réunis... Nous avons toujours eu l'habitude d'alterner l'un avec l'autre..... L'appareil de 1905 présente un poids total de 420 kg, aviateur compris, et il a été établi assez solidement pour pouvoir atterrir à grande vitesse sans se fausser ou se briser... Les résultats favorables obtenus sont dus à des améliorations de la qualité du vol résultant de tracés plus scientifiques et de méthodes perfectionnées en ce qui concerne l'équilibre et la direction. Le moteur et la machinerie ne possèdent aucune qualité extraordinaire. On a invariablement cherché à améliorer scientifiquement le rendement de l'appareil, au lieu de chercher à augmenter la puissance motrice. »

Depuis, MM. Wright ne firent, en Amérique, aucune tentative pour battre leur propre record du 5 octobre 1905. Mais leurs essais de mai 1908 eurent lieu avec les deux frères à bord, en vue de répondre aux conditions de leur contrat avec le Gouvernement des États-Unis. Le plus long parcours fut ainsi de 8.050 m en 7 min. 29 sec., par un cercle et demi, et se termina malencontreusement par une descente accidentelle, qui endommagea le gouvernail de profondeur et le plan supérieur. — Peu après, Wilbur Wright était en France, et s'installait aux Hunaudières, puis au camp d'Auvours, près du Mans.

Quand le bruit des sensationnelles envolées de Kitty Hawk, puis de Dayton, se répandit en France, il y eut une incrédulité quasi générale, justifiée d'ailleurs par le mystère d'essais faits sans contrôle, et même loin de tous les regards, car le Rapport de 1906 cite les noms de dix-sept personnes seulement, la plupart habitant Dayton, qui assistèrent à une ou plusieurs expériences. Il semblait impossible que, dans le pays du grand reportage, à l'affût du *great event*, des vols répétés, atteignant jusqu'à 40 km, aient eu lieu à l'insu de tous. Par contre, il y avait une contradiction évidente entre les propos d'ardents aviateurs, affirmant qu'ils arriveraient sous peu à parcourir des centaines de kilomètres, et déniant aux inventeurs américains la possibilité d'en avoir fait quarante. Les envolées du Mans mettent aujourd'hui hors de doute que les inventeurs américains n'avaient rien exagéré.

Les aviateurs français. — Quoi qu'il en soit, dès que les essais de l'automne 1905 furent connus en France, on se résolut à donner à l'énigme qu'ils posaient la plus élégante et, à mon

avis, la meilleure des solutions, car elle a valu à l'Aviation française le mérite de créer des types intéressants à bien des égards. Pour grands que soient les Wright ils sont ce que nous sommes, pensa-t-on; et, ce qu'ils prétendaient avoir fait, on se hâta d'y parvenir. Tout s'y prêtait : notre industrie usinait les moteurs les plus légers et les plus sûrs; quelques constructeurs avaient acquis, grâce aux dirigeables, l'habitude délicate du tracé des hélices aériennes, et nos Ingénieurs pouvaient calculer de façon suffisamment exacte, avant même le premier vol de Wright, la puissance motrice qui était nécessaire à un aéroplane monté. Une seule chose manquait : la maîtrise de l'air acquise par les aviateurs américains, à la suite de trois années de glissades.

Le premier de toute la nouvelle phalange d'aviateurs, M. Santos-Dumont réussit à y suppléer par ses qualités bien connues d'énergie et d'adresse, qui trouvaient tout à fait leur emploi dans l'expérimentation et la conduite du nouvel appareil de locomotion. Comme dans l'avion d'Ader, l'essor s'obtenait par les propres moyens de l'aéroplane, que le seul effet de son hélice entraînait sur le sol; M. Santos-Dumont eut, en outre, l'excellente idée de monter l'appareil sur un seul essieu, se condamnant

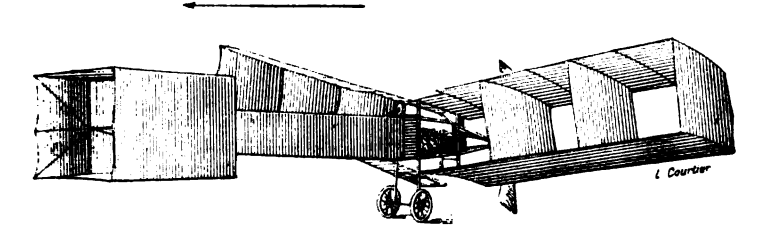


Fig. 40

ainsi, par cet artifice, à de multiples essais et à de nombreuses retouches pour réaliser la stabilité longitudinale sur le sol, avant de s'élever dans l'air. Le jour où l'aéroplane put ainsi rouler sans piquer du nez ou de la queue, il était paré pour prendre son vol et se soutenir, tant que sa stabilité ne serait pas mise en défaut par la mobilité des courants aériens.

Cette stabilité du fameux 14 *bis* était du reste précaire, notamment dans le sens transversal. Le système sustentateur principal se composait de deux ailes en dièdre très ouvert, chaque

aile étant constituée par un biplan cloisonné formé de toile tendue sur un châssis *(fig. 40)*. Le gouvernail de profondeur était un caisson cellulaire réuni, par une articulation à la Cardan, à l'extrémité d'une poutre effilée. Avec cette longue partie avant, sans empennage arrière, l'aéroplane se présentait à la façon des canards en plein vol. Une hélice tournant jusqu'à 1 500 tours par minute était actionnée par un moteur Antoinette de 50 ch, dû à Levavasseur.

M. Santos-Dumont parvint, le 23 octobre 1906, à effectuer une envolée de 60 m. Sous réserve des résultats du Rapport sur l'essai d'Ader, ce fut la première envolée faite en Europe; ce fut même la première au monde qui ait reçu la consécration d'un contrôle officiel; elle valut à son auteur d'être le tenant originel de la Coupe Archdeacon. Le 12 novembre, il faisait une autre envolée de 220 m en 21 sec. Si la première put être prise pour un simple bond, pour une manifestation heureuse, mais éphémère, de l'énergie des 50 ch tirant sur un esquif de 300 kg, la seconde était, à n'en pas douter, une expérience où la vitesse avait dû être entretenue. Aussi l'enthousiasme fut-il grand et légitime, d'autant que la rapidité de ces performances, obtenues au bout de six mois d'essais, était tout à fait remarquable.

Il me faut cependant constater ici la disproportion entre l'énergie et le poids soulevé, eu égard à la voilure qui était de 52 m². Cette disproportion est l'indice certain que la qualité du vol et le rendement du propulseur étaient médiocres. Quelques aviateurs savaient que les frères Wright déclaraient avoir volé avec une puissance environ moitié moindre; la possibilité d'améliorations immédiates importantes paraissait donc fondée. D'autre part des vols plus prolongés, comme ceux qu'on attribuait aux Wright, exigeaient une stabilité plus soutenue, et la nécessité d'expérimenter des dispositions nouvelles s'imposait.

M. Santos-Dumont essaya entre autres, à Saint-Cyr, un aéroplane où l'on trouve à l'arrière ce qui était à l'avant dans son 14 *bis*, et inversement : l'hélice de propulsion devint ainsi une hélice de traction, et le gouvernail de profondeur fut placé en queue. La surface sustentatrice fut réduite de 52 à 13 m², ce qui conduisait à de très grandes vitesses et à des efforts beaucoup plus considérables : aussi dut-on faire les ailes en placage; cette diminution de la surface était une bien grande hardiesse au début de l'aviation. Le lancement se faisait sur une seule roue. Le nouvel aéroplane n'atteignit pas aux résultats de son

ainé, pas plus que l'aéroplane, de dimensions exiguës, avec lequel le même aviateur s'essaya plus tard contre Farman dans le prix de 50 000 f Deutsch-Archdeacon.

Les premiers succès de M. Santos-Dumont augmentèrent la fièvre des aviateurs qui voulaient s'attribuer ce prix, et créa entre eux une heureuse émulation. M. Blériot, Ingénieur des Arts et Manufactures, commenca la construction d'une série d'aéroplanes. Après avoir essayé le biplan, qui est le type le plus facile à entretoiser, il l'abandonna bientôt pour des formes qui distinguent nettement ses appareils. Parmi ceux-ci, je citerai sa libellule à deux paires d'ailes en tandem, construites avec une légère charpente noyée dans une voilure en papier parcheminé. Les ailes d'avant se terminaient par de petites surfaces auxiliaires ou *ailerons*, dont le pilote peut faire varier l'orien-

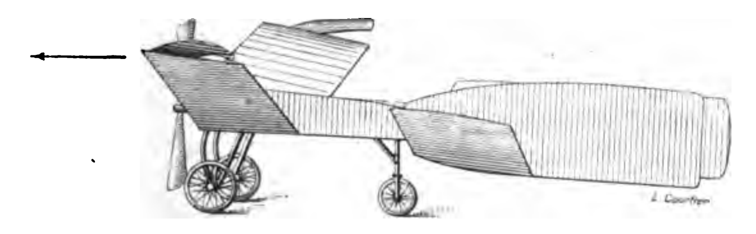


Fig. 41

tation *(fig. 41)*. Ces ailerons tenaient lieu de gouvernail de profondeur quand on agissait également sur l'un et sur l'autre, et de voilure gauchie si l'on agissait inégalement. Cet aéroplane ne se prêtait pas à un haubannage aussi rigide que les formes Chanute et Wright. L'hélice était mue par un moteur Antoinette.

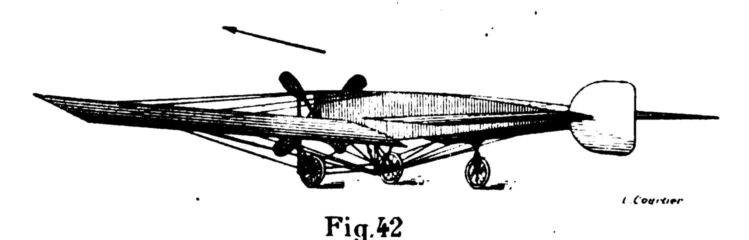


Fig. 42

Jugeant le moteur primitif trop faible, M. Blériot le porta de 24 à 50/60 ch, ce qui était excessif, car l'augmentation de poids qui résultait de ce changement et de diverses modifications ne nécessitait pas pareil accroissement de la puissance. Aussi le dis-

tingué aviateur fit-il plusieurs envolées réellement périlleuses, en s'élevant rapidement et à grande vitesse. Il réussit néanmoins une envolée de 184 m qui se termina par une chute de 25 m de hauteur, où l'aéroplane fut sérieusement endommagé.

M. Blériot en construisit un nouveau, à une seule paire d'ailes, qu'il pourvut d'un appareil de stabilisation formé d'une queue horizontale coupée en deux segments, entre lesquels se trouve le gouvernail vertical de direction *(fig. 42)*. Il put faire de belles envolées de 400 à 500 m, avec volte-face, mais il ne réussit

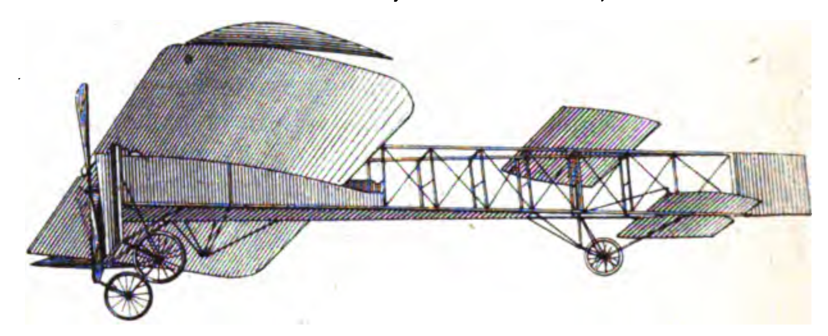


Fig. 43

pas à éviter le panache où se fracassa l'aéroplane. Depuis, le sympathique aviateur poursuit le succès avec une inlassable ténacité, et son dernier modèle de 1908, avec lequel il faillit gagner le prix Armengaud *(fig. 43)*, semble devoir donner d'excellents résultats. Outre les ailerons placés à droite et à gauche de la voilure principale, et dont j'ai signalé la fonction, on voit nettement sur la figure le gouvernail de direction à l'extrémité arrière de la poutre armée, et deux voilures quasi horizontales, dont l'une est une queue d'empennage, tandis que l'autre, à courbure commandée par le pilote, forme gouvernail de profondeur principal.

Toutes les manœuvres sont réunies en un ingénieux dispositif que M. Blériot a imaginé et employé dans la plupart de ses aéroplanes. L'arbre du volant de manœuvre est inclinable et porte, presque à la partie inférieure, une cloche dont il forme l'axe. A différents points du cercle de base de cette cloche aboutissent les fils d'acier qui commandent les diverses surfaces, de sorte que ces fils sont, en définitive, attachés à de véritables leviers coudés, dont l'une des branches est l'arbre et dont l'autre branche est le rayon du cercle. En portant le volant en avant,

on agit sur le gouvernail de profondeur de façon à descendre; on monte, au contraire, en le portant en arrière. En le portant à droite, on agit sur les voilures de façon à redresser l'appareil s'il s'incline transversalement vers la gauche, et inversement. Après l'essor, ce dispositif permet, le cas échéant, de conduire l'aéroplane d'une seule main. Comme dans les automobiles, le volant porte la manette d'avance à l'allumage.

Les constructeurs des aéroplanes Archdeacon, MM. Voisin frères, mettant à profit une expérience de plusieurs années,

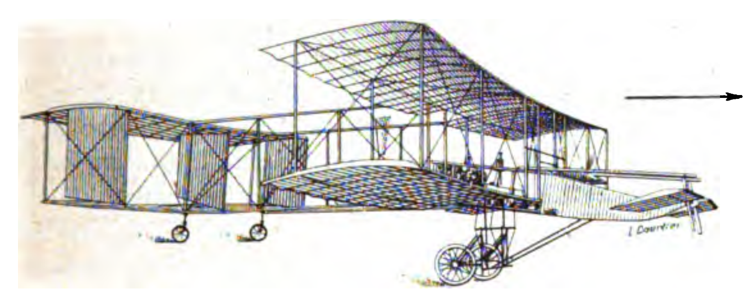


Fig. 44

étudièrent un type d'aéroplane, devenu bientôt populaire, et dont j'ai recherché les caractéristiques dans la première Partie. Il est essentiellement formé (*fig. 44*) de deux biplans parfaitement entretoisés; celui d'avant, notablement plus grand, était sans cloisonnement dans les premiers aéroplanes, mais les tout derniers ont quelques cloisons verticales; le biplan arrière est une cellule coupée en son milieu par le gouvernail de direction. L'armature des ailes n'est pas noyée dans la voilure, constituée par une toile tendue sous les nervures, et qui prend un peu la forme de côtes, sous la pression de l'air. A l'avant se trouve le gouvernail de profondeur, mû par une pédale agissant sur un système de leviers en bois commandés par un volant d'automobile. Les voilures principales ne sont pas susceptibles de gauchissement et ne sont pas complétées, comme dans les aéroplanes Blériot, par des ailerons capables de produire des effets analogues, quoique moindres; la stabilité latérale, entièrement statique, est demandée à l'envergure et aux cellules. Dans ces conditions, l'obtention d'une stabilité *propre* qui s'est montrée suffisante, au cours de nombreux voyages, fait le plus grand honneur à l'habileté des constructeurs. La stabilité longitudinale est d'ailleurs très bonne.

Le premier client des frères Voisin fut M. Delagrange, qui leur commanda, au commencement de 1907, un aéroplane à bord duquel M. Ch. Voisin franchit 60 m aux essais. Notre Collègue M. Kapférer, Ingénieur civil des Mines, qui pilota le dirigeable *Ville-de-Paris*, confia aussi à MM. Voisin la construction d'un aéroplane du même genre, mais d'une plus grande légèreté. Enfin, en avril 1907, ces constructeurs reçurent la commande de M. Henri Farman, qui avait acquis une grande notoriété dans les courses d'automobiles, et fut tenté par la conduite d'un aéroplane où ses qualités d'énergie, de sang-froid et de chauffeur émérite pouvaient s'employer utilement.

Après seulement quatre mois d'essais employés surtout à la mise au point, M. Farman réussit, le 26 octobre 1907, un vol de 770 m qui le fit deuxième tenant de la Coupe Archdeacon; puis, le 13 janvier 1908, il gagna le grand Prix du kilomètre fondé par MM. Deutsch et Archdeacon (1). Cette performance fut établie en 1 m. 28 sec., avec un parcours réel de 1 200 m environ. Il n'est que juste d'associer à cette victoire les noms des constructeurs de l'aéroplane, MM. Voisin, et celui de M. Levavasseur, l'inventeur du moteur Antoinette à 8 cylindres de 50 ch, qui conduisit l'aéroplane au succès. L'effet sur le public fut énorme : le kilomètre franchi, les moins crédules sentaient que c'était par dizaines, puis par centaines de kilomètres qu'allait s'affirmer le nouveau mode de locomotion.

Tout différent du type Voisin est l'aéroplane monoplan de M. Esnault-Pelterie, qui se distingue par des qualités précieuses. Vous connaissez cet appareil (*fig. 45*), qui vous a été présenté dans la Communication que notre jeune et distingué Collègue vous a faite sur son moteur léger, invention si complètement remarquable. Les ailes viennent s'attacher à un corps fusiforme dont le maître couple se trouve au tiers environ de la longueur totale comptée à partir de la proue; elles ont la forme de trapèzes allongés, dont la grande base tient au corps. Leur forme a été déterminée avec soin, à la suite de nombreux essais faits en automobile sur des surfaces très variées; elles ont un galbe spécial, et leur gauchissement est commandé par l'aviateur, qui put ainsi effectuer des virages avec une aisance très remarquée. Il y a seulement quatre haubans, placés sous la voilure, pour supporter la majeure partie de la charge pendant le vol. A

(1) Pour les dimensions de l'aéroplane, se reporter à la première Partie, pages 86 et 106.

l'arrière, au dessus du gouvernail de direction, se trouve une queue concave perpendiculaire au plan de symétrie, qui sert à la fois de gouvernail de profondeur et d'empennage, comme chez les oiseaux. La manœuvre de cette queue, en tant que gouvernail de profondeur, et celle du gauchissement des ailes, sont commandées par des fils d'acier, et une seule main suffit, après l'essor, à la conduite de l'appareil. Le pilote peut, en outre, agir avec le pied sur un accélérateur. Le moteur est à l'avant, l'avia-

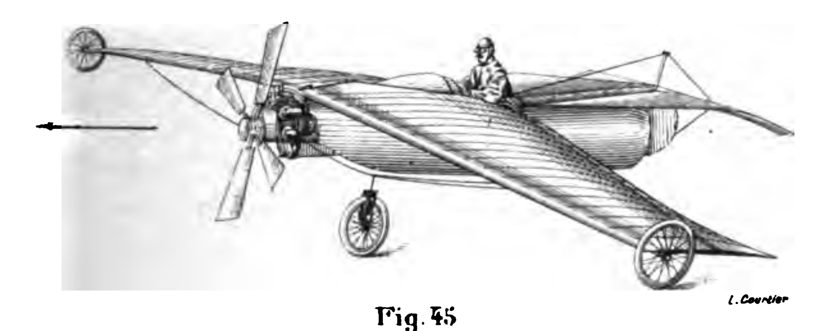


Fig. 45

teur vers le milieu. Au départ, l'appareil repose sur la roue placée sous le corps, et sur l'une des deux roues que portent les extrémités des ailes; dès que la vitesse est suffisante, l'aviateur gauchit la voilure de façon à ne plus reposer que sur la roue centrale. Dans la première Partie, j'ai recherché les caractéristiques de cet aéroplane, qui a une résistance à l'avancement moindre que les biplans et une bonne stabilité transversale grâce au gauchissement, mais dont la stabilité longitudinale laissait à désirer : malgré le développement de la voilure arrière, il était, en effet, difficile d'enrayer le déversement quand il venait à se produire. Néanmoins, par temps calme, M. Esnault-Pelterie a fait des vols de 250 m en réussissant des 8, ce qui, pour l'aviateur comme pour le patineur, est le critérium de l'habileté.

Comme les Wright, M. Esnault-Pelterie a conçu, construit en toutes ses parties et expérimenté lui-même son aéroplane; c'est pour lui qu'il a créé son moteur, qui constitue une invention digne d'éloges dans son principe, en même temps qu'une œuvre de belle mécanique. Cet aviateur d'avenir vient de construire un nouvel aéroplane, du même type que celui de 1907, décrit ci-dessus, mais où sont réalisés d'heureux perfectionnements. Un aide a pu réussir des vols intéressants après un entraînement de quelques jours.

Ces divers aéroplanes sont fort dissemblables : monoplans avec MM. Blériot et Esnault-Pelterie, biplans avec les frères Voisin, triplans avec quelques aviateurs qui font actuellement leurs essais, ils se singularisent en outre par des dispositifs particuliers à chaque inventeur, notamment en ce qui concerne la stabilité. Mais ils ont tous un caractère commun, propre à l'école française : c'est de pouvoir prendre leur vol par leurs seuls moyens, et c'est là un sérieux avantage, tout au moins pour les aéroplanes de tourisme.

L'année 1908, dont l'aurore avait été marquée par le record officiel du kilomètre, ne tarda pas à nous apporter des performances beaucoup plus impressionnantes que celles qui viennent d'être relatées au cours de la description des principaux types d'aéroplanes. Le 11 avril, à Ivry, M. Léon Delagrange réussissait un vol de 6 min. 30 sec., compté pour une distance de 3925 m : l'abaissée dans des virages à trop faible hauteur lui fit effleurer deux fois le sol, sans quoi la distance officielle eût été de 5500 m environ, et la distance réelle eût dépassé 7 km. Le 30 mai, à Rome, l'intrépide aviateur franchissait 12750 m en 15 m. 27 s., et, le 22 juin, à Milan, 16 km environ en 16 m. 30 s. : cette distance ne fut pas courue dans les conditions du règlement du prix Armengaud, et c'est pourquoi, le 6 juillet, M. Farman put s'adjuger le prix du quart d'heure, par un vol de 20 m. 20 s. L'aviation française volait, a-t-on pu dire, de succès en succès, et les expériences mémorables qui allaient avoir lieu au Mans ne doivent pas faire oublier les si remarquables résultats qu'obtinrent ses champions.

Au moment où je corrige les épreuves de ce Mémoire, ces résultats s'affirment par une nouvelle performance, depuis longtemps attendue : Farman, puis Blériot, ont quitté la nudité des aérodromes pour voler les premiers au dessus de la pleine campagne. Quoi qu'on en ait dit, ce n'est pas là un mince mérite, c'est un acte de grande hardiesse, car, avec les aéroplanes actuels, la nervosité du pilote peut leur être fatale ! Or, passer sur un hameau, franchir, comme l'a fait Farman, un rideau de peupliers, où le régime du vent est subitement modifié, exige un sang-froid et une maîtrise de l'air qu'on est justement fier de rencontrer chez nos aviateurs après un entraînement de quelques mois.

Wilbur Wright en France. — C'est au milieu de cette année 1908, qui marquera dans les fastes du plus lourd que l'air, que

M. Wilbur Wright fit chez nous ses retentissantes expériences, à la demande du Comité Lazare Weiller, constitué dans le but de faire connaître et de répandre en France l'aéroplane des célèbres aviateurs américains. La presse et la photographie ont popularisé cet appareil, encore que ses dimensions exactes et nombre de dispositifs de détail soient assez peu connus, du moins à l'heure où j'écris ces lignes.

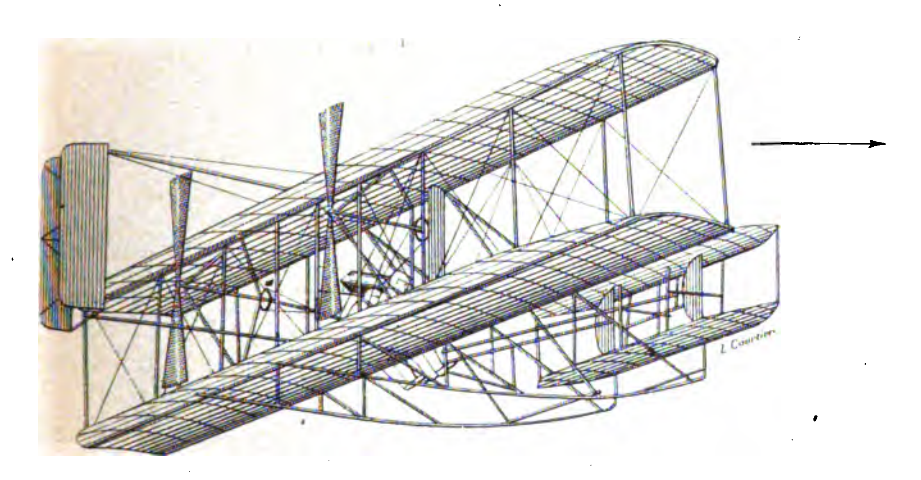


Fig. 46

Il se compose essentiellement *(fig. 46)* d'un seul biplan, avec gouvernail de profondeur à l'avant, gouvernail vertical de direction à l'arrière, le tout monté sur une ossature portée par deux longs patins en bois, relevés à la manière des patins d'un traîneau et permettant un atterrissage facile. La longueur totale, depuis l'avant du gouvernail de profondeur jusqu'à l'arrière du gouvernail de direction, a un peu plus de 9 m.

Les voilures du biplan, de 12,50 m d'envergure et 2 m de profondeur, sont tendues sur une carcasse formée de deux longerons plats entretoisés par 34 nervures, dont la courbure a été déterminée à la suite de très nombreux essais *(fig. 47)*; ces nervures forment, au delà du longeron arrière, deux lames flexibles, rivées l'une à l'autre, et qui peuvent soit céder à la poussée de l'air, soit se prêter au gauchissement, comme il sera expliqué plus loin. Quelques entretoises en bois maintiennent leur écartement. Un fil d'acier part des coins postérieurs du cadre en bois, et réunit les extrémités de toutes les nervures.

La carcasse de chaque aile est noyée entre deux toiles parfaitement bien tendues, simplement clouées sur le longeron avant ainsi que sur les côtés, et cousues ensemble à l'arrière; en outre, celle du dessous est réunie par des goussets à la branche inférieure des nervures. Les toiles sont tendues de biais sur leur cadre, de façon à bien répartir la fatigue des fils, et à con-

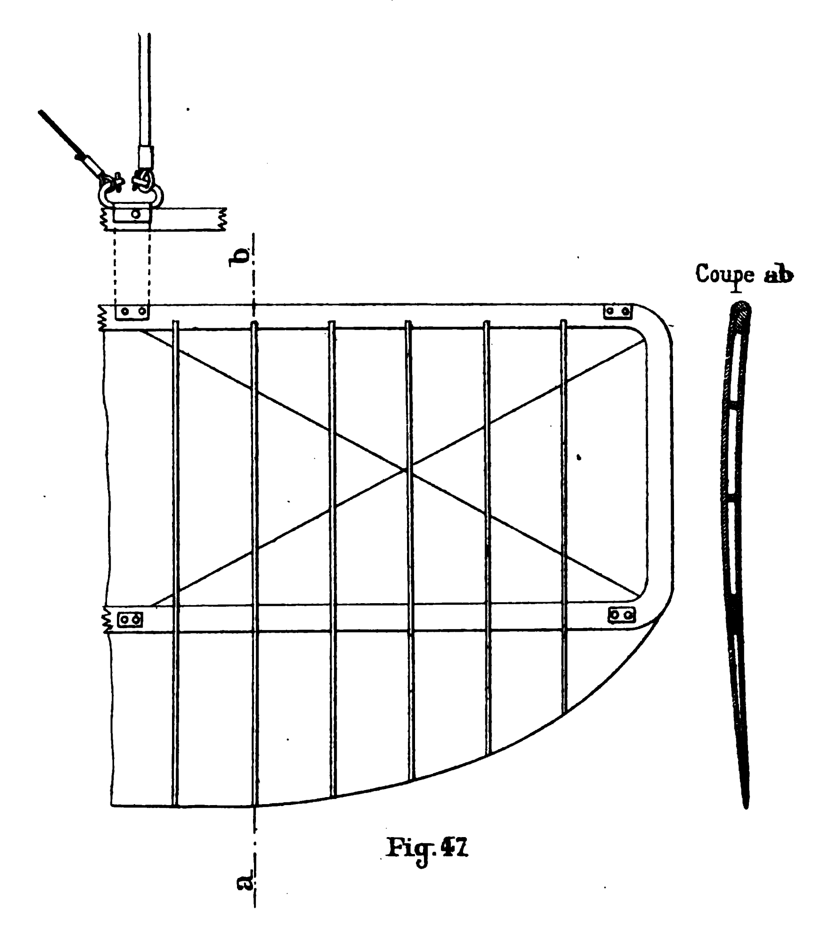


Fig. 47

server la régularité des surfaces pendant le gauchissement. Les deux voilures sont maintenues à une distance de 1,80 m par des montants en bois; dans la partie centrale, la rigidité du biplan est assurée par la liaison des longerons avec les montants immédiatement à droite et à gauche du plan médian; mais tous les autres montants sont articulés avec les longerons à l'aide d'un simple piton qui passe dans un crochet goupillé, ainsi que le

montre la figure 47. Des haubans en fil d'acier, sans tendeurs, assurent la rigidité de la poutre qui constitue l'ossature du biplan, sauf dans les parties où peuvent se gauchir les deux voilures, qui sont toujours maintenues parallèles. La voilure inférieure n'est qu'à 0,40 m environ au dessus des patins.

L'extrémité antérieure de ceux-ci est recourbée verticalement pour soutenir le gouvernail de profondeur, formé par deux petites surfaces de 4,50 m d'envergure et 0,75 m de profondeur, soit, en tenant compte des arrondis, le huitième seulement de la voilure principale, dont ils sont distants de 3 m. En outre, les montants portent deux petites surfaces demi-circulaires, qui n'existaient pas tout d'abord; Wright fut conduit à les placer pour compenser le gouvernail de direction et lui fournir un point d'appui ; elles semblent guider les filets fluides dans la marche rectiligne et s'opposer à toute velléité de dérapage dans les virages. Un levier commande l'orientation des voilures horizontales, à peine cintrées quand le levier est à sa position de repos, mais qui se cintrent assez fortement quand l'angle d'attaque augmente. A cet effet, quand le pilote tire le levier en arrière, pour incliner tout l'aéroplane dans le même sens, deux jeux de biellettes font tourner chaque voilure autour d'un axe situé à peu près à son tiers vers l'avant; les bras de leviers des deux jeux étant différents, l'avant se relève un peu, tandis que l'arrière s'abaisse fortement, d'où une concavité qui donne une action très efficace. Au contraire, quand on pousse à fond le levier en avant, la concavité des voilures du gouvernail est tournée vers le haut : c'est la position de départ, pour appuyer l'aéroplane sur son rail de lancement. Ainsi les frères Wright, inventeurs du gouvernail de profondeur, qu'ils ont imaginé pour obtenir l'inclinaison nécessaire et compenser les déplacements du centre de pression, lui ont donné, dès l'abord, une disposition des plus remarquables.

A 2,50 m à l'arrière du grand biplan se trouve le gouvernail de direction, composé de deux plans verticaux solidaires, mobiles autour d'un axe vertical. Ils ont la hauteur du biplan, 0,60 m de profondeur, et sont distants de 0,50 m. Il n'y a pas la queue d'empennage horizontale qui existe dans la plupart des aéroplanes français. Les frères Wright en avaient mis dans leurs premiers appareils, à l'exemple de Pénaud, de Lilienthal et de Chanute; ayant été conduits à la réduire, ils en arrivèrent à la supprimer.

Un moteur à pétrole à 4 cylindres, développant 25 ch à 1 400 tours, et pesant 90 kg au complet, est fixé sur la voilure inférieure du biplan. Il n'a pas de carburateur proprement dit, et son radiateur est en tubes plats en cuivre, qu'on aperçoit dans le plan médian sur la figure 46. Il est un peu à droite de ce plan, le siège du pilote étant à gauche, de façon que moteur et pilote s'équilibrent exactement. Pour que rien ne soit changé à l'équilibre si l'on emmène un passager, son siège se trouve juste dans le plan de symétrie. A l'aide d'une transmission par chaînes qui passent dans des tubes d'acier et dont une est croisée, le moteur actionne deux hélices en bois de 2,60 m de diamètre, tournant en sens inverse avec une démultiplication de $^{9}/_{31}$, soit à l'allure moyenne de 400 tours seulement par minute. D'après W. Wright, leur recul n'atteint pas 20 0/0. Comme les bonnes hélices des ballons dirigeables français, elles ont les deux surfaces de leurs pales parfaitement polies.

Tout l'appareil pèse 400 kg sans son pilote. Son envolée est aidée par la chute d'un poids de 700 kg monté en haut d'un pylône de 6 m de hauteur et ayant une chute utile de 5 m. En avant de ce pylône, un rail de 21 m est posé sur le sol et orienté vent debout. Le câble porte le poids par une moufle, puis il passe sur une poulie placée au pied du pylône contre le rail, suit ce dernier, passe sur une seconde poulie placée presque à l'avant, et retourne à l'arrière s'attacher à un chariot mis à cheval sur le rail, sur lequel il repose par deux galets à gorge. L'aéroplane étant amené sur le chariot, deux aides mettent le moteur en marche en tournant simultanément les deux hélices; l'abattée d'un déclic fait tomber le poids, pendant que le chariot, rendu libre, est rapidement entraîné : avant qu'on arrive à l'extrémité du rail, le gouvernail de profondeur, d'abord frappé par dessus, est basculé presque à fond, et l'aéroplane, continuant sa translation en vertu de la vitesse acquise, prend son essor. Tout aussitôt, le gouvernail de profondeur est amené à l'inclinaison nécessaire pour un vol horizontal ou faiblement ascendant, et l'aéroplane continue sa marche en prenant la vitesse de régime correspondant à la traction de ses hélices.

Le pilote tient deux leviers, un dans chaque main. Celui de gauche *(fig. 48)* a un mouvement d'avant en arrière; il commande, comme il a été dit, le gouvernail de profondeur. Celui de droite commande à la fois le gauchissement du grand biplan et le gouvernail de direction : c'est un des organes caractéris-

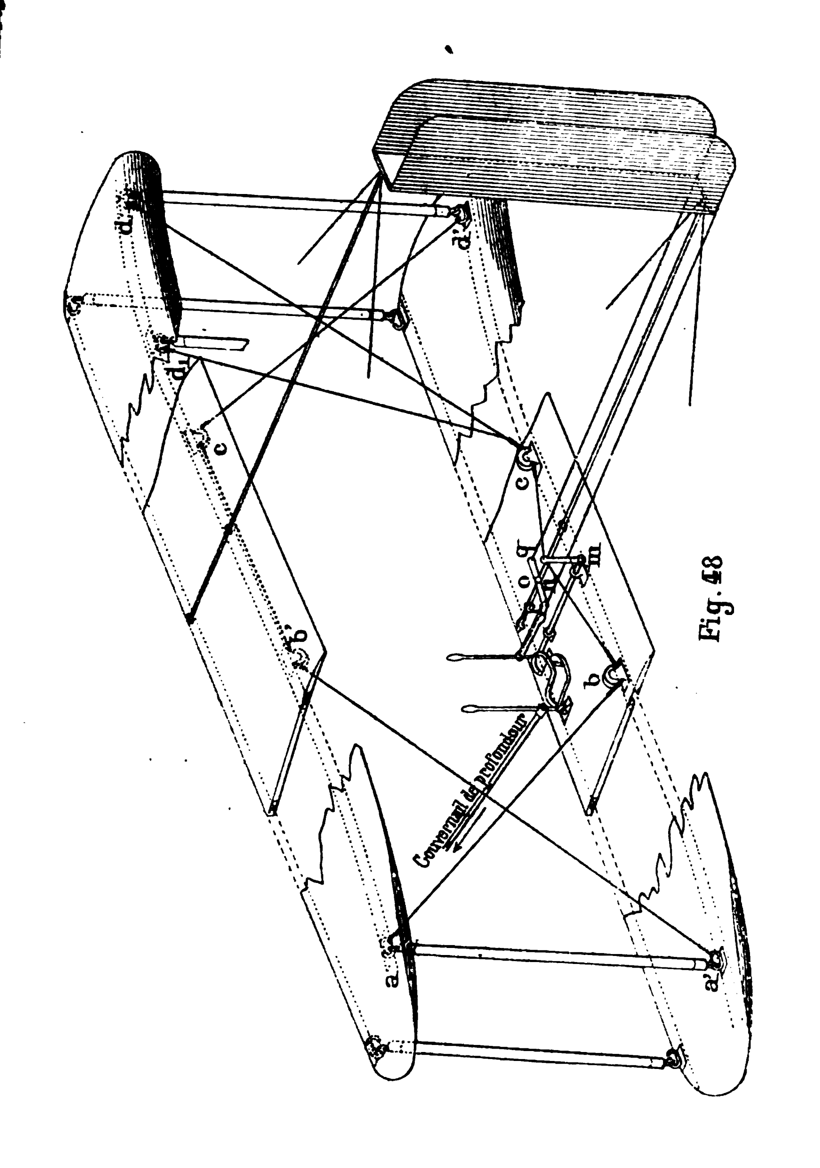


Fig. 48

tiques de l'aéroplane Wright, et il convient d'expliquer son mécanisme à la fois simple et ingénieux.

Un câble *abcd* est tendu entre les coins arrière *a*, *d* de la voilure supérieure, en passant sur deux poulies *b*, *c*, placées sur la voilure inférieure; il est fixé en son milieu à un doigt vertical *mn* que porte l'axe de rotation du levier. Un deuxième câble *a'b'c'd'* est tendu entre les coins *a'd'* de la voilure inférieure, et passe sur deux poulies *c'd'* fixées sur la voilure supérieure. Supposons que l'aéroplane vienne accidentellement à pencher vers la droite : le pilote tire le levier dans le sens où il veut se redresser, c'est-à-dire vers la gauche ; la rotation de *mn* tire *ncd*, et le coin *d* s'abaisse. Comme les deux voilures doivent rester sensiblement parallèles, grâce aux montants articulés, le coin *d'* s'abaisse en même temps que *d* et relève le coin *a'* par l'intermédiaire du câble *a'b'c'd'*; le coin *a* se relève alors. En réalité, près de chaque poulie *b*, *c*, *b'*, *c'*, il part deux câbles tels que *cd*, cd_1 : mais ce dernier n'est pas tendu quand, à terre, on tire le câble *cd*; il se tend pendant le vol, sous l'effet de la pression de l'air sur la voilure, et semble donc avoir pour objet de limiter la flèche de gauchissement des longerons arrière. J'ai mesuré, avec ma canne, l'abaissée du point *d* en faisant tirer le levier à fond, et j'ai trouvé 30 cm environ : le gauchissement le plus fort donne donc sensiblement un déplacement différentiel de 60 cm des points *a* et *d*, *a'* et *d'* sur une distance de 12,50 m. Au reste, les mouvements de la main du pilote sont toujours de très faible amplitude, et le plus souvent à peine perceptibles.

En résumé, la rotation du levier vers la gauche abaisse les deux coins de droite et relève les deux coins de gauche. La voilure reçoit alors une pression plus grande du côté droit, qui remontera d'autant plus que ce côté ne se déplacera pas à une vitesse moindre que le gauche. Or, ainsi qu'il est expliqué dans les brevets Wright cités dans la première Partie, la différence de pression à droite et à gauche donnerait au contraire à l'aéroplane un mouvement circulaire nuisible, auquel il faut s'opposer par l'intervention de résistances convenables; c'est ce qu'on obtient avec le gouvernail de profondeur : un levier *pq*, tournant autour de son milieu *o*, est commandé par le même levier de manœuvre, de façon à incliner les deux plans verticaux et à provoquer une rotation de sens inverse à celle que donne le gauchissement. La commande du gauchissement et celle du gouvernail de direction se trouvent ainsi combinées en un seul mouvement du le-

vier : à gauche et en avant, pour redresser l'aéroplane incliné à droite ; à droite et en arrière, pour redresser l'aéroplane incliné à gauche.

L'aéroplane offrant à l'air une résistance latérale très faible, il faut *amorcer* les virages, ainsi que je l'ai montré dans la théorie : on commence donc par gauchir plus ou moins la voilure, puis il suffit de maintenir le gouvernail de direction à l'inclinaison voulue, comme dans le virage d'un bateau, en tenant le levier en avant ou en arrière. Si l'on veut obtenir des virages plus courts par le gauchissement combiné à l'action du gouvernail, on maintiendra le levier en avant et à droite, ou bien en arrière et à gauche; en un mot, à l'inverse de ce qui se passe pour redresser l'aéroplane quand il s'incline, le gouvernail arrière ne doit plus contrarier le mouvement de rotation. Pour terminer le virage, on placera le levier dans la position symétrique avant de le ramener à sa position normale.

Pour atterrir, les Wright coupent le plus souvent l'allumage au moyen d'un fil qu'ils poussent généralement avec le corps. Ils opèrent alors une glissade qu'ils décrivent à leur gré; arrivés près du sol, ils tirent le levier de gauche franchement en arrière pour relever les plans et enrayer la vitesse à la manière des oiseaux; les patins glissent sur le sol, et bientôt l'aéroplane s'immobilise à terre avec une telle douceur que les passagers ne se sont jamais rendu compte du moment précis de l'atterrissage.

Pour former des élèves, W. Wright emploie un moyen ingénieux et simple : il leur fait tenir, à main molle, deux leviers conjugués avec les siens; il leur permet ainsi d'acquérir les réflexes pour obtenir d'instinct la stabilité, et pour évoluer avec sécurité.

L'appareil Wright se distingue donc par le gauchissement différentiel de la voilure, sans rotation connexe, par le jeu ingénieux du gouvernail de profondeur, par l'absence d'empennage horizontal, de quille et de cloisonnements verticaux, par l'emploi de deux propulseurs à allure relativement lente, enfin par le mode de lancement; il semble qu'on ait cherché à y réaliser l'équilibre indifférent. Ses qualités s'affirment par une stabilité remarquable, aussi bien avec moteur en marche que dans les planements, par une grande aisance dans les évolutions, par la fantaisie voulue des trajectoires, où il paraît se jouer des caprices de l'atmosphère ; toutefois, W. Wright avoue que, par des vents un peu forts, toujours accompagnés de rafales, la

conduite exige une continuelle tension d'esprit, et cela confirme, à mon avis, la nécessité, pour les aéroplanes portant des passagers, d'assurer la stabilité par des procédés dynamiques, mais automatiques. Avec le pilote seul, l'angle d'attaque est si faible que les surfaces peuvent paraître frappées par dessus; mais j'ai montré, dans la technique de la voilure, que le véritable angle d'attaque est plus grand, de plusieurs degrés, que celui de la trajectoire avec la corde des surfaces sustentatrices. Avec un passager, l'angle est visiblement plus fort.

Si la construction de diverses parties de l'aéroplane, toujours très ingénieuse, est néanmoins assez fruste, par contre la voilure et les hélices ont été l'objet de soins minutieux, et sont réussies de tous points : ces avantages précieux, que j'ai mis en évidence dans la partie théorique, sont rendus tangibles par la faible puissance du moteur, qui est de 25 ch, au lieu des 40 à 50 ch de la plupart des aéroplanes français de même poids.

On s'est demandé si cette plus faible puissance n'était pas due à la suppression du travail de démarrage sur le rail, grâce à la chute du poids du pylône. Je ne le crois pas, car nous ne nous trouvons pas en présence d'un problème comme celui du démarrage, sur un terrain mauvais, d'un véhicule lourdement chargé. Il serait aisé d'en décider, en enregistrant les éléments nécessaires au calcul du travail pendant tout le roulement sur le rail, puis en plein vol : on verrait si la courbe représentative indique, au démarrage, un important supplément de puissance motrice. A défaut de cette courbe, voici un fait qui apporte quelque lumière sur cette controverse : il est évident que, si Wright avait recours au pylône dans le but de faire l'économie de ce supplément en prenant seulement le moteur qui est nécessaire au vol, il aurait eu une très faible marge pour emporter des charges additionnelles : or, c'est précisément son aéroplane qui a réalisé les plus remarquables performances de ce genre, notamment en enlevant M. Léon Bollée, dont le poids dépasse 120 kg. Au reste, W. Wright a réussi aisément des envolées sans se servir du pylône, dont le véritable rôle est de lui permettre de prendre très rapidement son essor. Avec des aéroplanes chargés et lourds, comme il y en aura dans l'avenir, le problème de la suppression du travail de démarrage pourra s'imposer, et, à ce point de vue, l'anticipation donnée par Wright ne manque pas d'élégance.

Il a semblé à beaucoup d'aviateurs que l'absence de tout em-

pennage de queue dans le sens horizontal donnerait à l'appareil, en l'absence du gauchissement, une stabilité longitudinale *propre* inférieure à celle des aéroplanes Voisin, où, par contre, cet empennage est notable : dans les calculs de la première Partie, j'ai montré qu'il suffit d'une surface assez faible, si elle est convenablement placée, pour obtenir l'équilibre et la stabilité longitudinales, et j'ai rappelé que les oiseaux classés parmi les plus fins voiliers ont une queue assez peu développée. Malgré l'absence d'empennage, la stabilité longitudinale *propre* de l'aéroplane américain est cependant bien meilleure que certains ne le supposent; il a du reste un grand empattement, la longueur totale dépassant 9 m, pour 12,50 m d'envergure.

Toutefois, l'absence du chariot à roues des aéroplanes français nécessite, sinon le pylône, du moins un rail de lancement, et l'aéroplane ne peut partir par ses propres moyens. Cela peut être considéré comme d'importance médiocre pour les voyages à itinéraires fixes, sans pannes en cours de route : car, dans ce cas, on pourra prévoir des stations de départ pour les futures lignes d'aéroplanes, comme il y a des gares pour les voies ferrées, des quais d'embarquement pour les lignes maritimes. Mais le départ par les seuls moyens du bord est un avantage précieux en cas de panne, et devient presque une nécessité pour les aéroplanes de tourisme, dont les trajets doivent se faire au gré des voyageurs. Il semble, du reste, aisé de donner ces moyens à l'aéroplane Wright, car ses vols ont prouvé que le poids d'un chariot de départ n'est pas pour le gêner.

Les vols du Mans, dont on peut dire qu'ils passionnent l'univers, sont venus confirmer d'éclatante façon les prouesses, si longtemps controversées, de Kitty Hawk et de Dayton, auxquelles nous avons été si peu nombreux à croire; ils donnent aux frères Wright une place hors pair dans l'histoire de l'Aviation. L'aéroplane des célèbres aviateurs est tout entier leur œuvre : ils l'ont conçu et construit dans ses moindres détails, et n'ont laissé à personne d'autre le soin de l'expérimenter longuement. Il n'est pas jusqu'au moteur qu'ils n'aient fait de leurs propres mains; et ceci me semble d'ailleurs de bon augure pour l'avenir, car nous possédons en France, d'ores et déjà, des moteurs plus légers, d'un fonctionnement aussi régulier et aussi sûr. Il faut néanmoins reconnaître que, de tous les moteurs légers, celui des Wright, à la fois simple et robuste, a pu fonctionner pendant des vols de deux heures.

Je ne terminerai pas avec Wilbur Wright sans me féliciter, pour ma part, qu'il soit venu chercher la consécration de sa renommée en ce pays de France, terre classique de la navigation aérienne. Au reste, il y est accueilli avec cette hospitalité large, exempte de toute envie, que la valeur des travaux de ses propres inventeurs permet à la patrie des Montgolfier, des Pénaud et des Renard, pour ne parler que des disparus.

Résumé.

Résumant cet historique, je crois qu'on doit attribuer à George Cayley la conception de l'aéroplane; dès 1809, cet homme éminent en vit clairement le principe, et en imagina les dispositifs essentiels. C'est au Français Alphonse Pénaud que revient le grand honneur d'avoir construit le premier aéroplane qui ait volé, aéroplane assurément de dimensions bien mièvres, mais qu'il était impossible, en 1871, de faire beaucoup plus grand. Peut-être est-il permis de revendiquer pour un autre Français, Clément Ader, le mérite de s'être élevé le premier au dessus du sol, dans une brève envolée de 300 m, où, d'ailleurs, n'aurait été réalisée que l'une des conditions essentielles d'un vol véritable, lequel exige à la fois une sustentation et une stabilité prolongées. Un tel vol, véritable emprise de l'homme sur le domaine de l'air, c'est aux frères Wright qu'en revient l'impérissable honneur. Ils le réalisèrent pour la première fois en Amérique, le 17 décembre 1903. Précédés par Maxim, Langley, Lilienthal et Chanute, qui leur ouvrirent la voie, Wilbur et Orville Wright furent suivis en France par M. Santos-Dumont, qui effectua, en 1906, les premiers essais contrôlés, puis par MM. Blériot, Esnault-Pelterie, Voisin, Delagrange et Farman, qui réussirent des vols impressionnants; en particulier, Farman et Blériot se sont élancés les premiers en pleine campagne, au dessus des champs et des bois, des hameaux et des villages, et ont eu la hardiesse méritoire d'amorcer ces *voyages* aériens qui, depuis des milliers d'années, sont la hantise de l'humanité.

TROISIÈME PARTIE

PERFECTIONNEMENTS ET AVENIR DE L'AÉROPLANE

Après l'exposé des principes et des résultats acquis, après que le cinématographe a fait revivre sous vos yeux les plus récentes envolées des aviateurs, je voudrais, ainsi que je vous l'ai promis, aborder rapidement l'examen de ces questions que je devine sur vos lèvres : les aéroplanes sont-ils condamnés à n'être que des appareils de sport, évoluant au dessus de terrains propices à leur essor et à leur atterrissage, ou bien pourront-ils un jour se risquer — et risquer leurs passagers — sur les routes aériennes, déjà longues de plusieurs centaines de kilomètres, où viennent de les précéder nos grands ballons dirigeables ? S'ils y parviennent, doivent-ils rester des appareils accessibles à quelques privilégiés, ou bien ont-ils chance d'acquérir les qualités requises, au point de vue de la sécurité et du poids utile, pour créer un mode de transport, sinon courant, du moins susceptible de troublantes applications ?

A l'heure actuelle, la réponse à de telles questions comporte fatalement un notable coefficient personnel, suivant qu'on est enthousiaste ou sceptique, d'esprit ardent ou de tempérament rassis. Sous cette réserve, il existe néanmoins un double criterium qui nous permettra de nous faire une opinion réfléchie, et de voir sur l'avenir un peu mieux qu'à travers le prisme de nos illusions ou de notre incrédulité. Ce double criterium est le uivant : d'une part, apprécier les progrès de demain par les rogrès d'hier, grâce à ce sens de la continuité que nous a onné notre éducation scientifique; d'autre part, examiner direcment, ce qui vaut mieux encore, si les perfectionnements u'il est possible de concevoir se réduisent à des détails insigniants, ou si quelques-uns peuvent être assez profonds pour légi-

timer les larges espoirs qu'a fait naître le nouveau navire aérien.

Permettez-moi donc, tout d'abord, de dégager, par une évocation rapide, l'enseignement que comportent les merveilleux progrès accomplis en ces dernières années. Tant que le poids du moteur dépasse 10 kg par cheval, toute machine volante destinée à porter l'homme reste obstinément rivée au sol, et l'ingéniosité des inventeurs se dépense en vain. Mais aussitôt qu'est créé le moteur de 7 kg par cheval demandé par Renard, il devient possible à l'homme de s'affranchir du joug séculaire qui l'attachait au sol : l'aéroplane est réalisable, et il est presque aussitôt réalisé. Les temps sont venus : fin 1903, les Wright commencent la série de leurs vols superbes, puis, en France, M. Santos-Dumont peut obtenir des résultats appréciables avec un appareil de dispositions médiocres, qui lui demande moins d'efforts que n'en ont dépensés, pour ne pas réussir, Cayley, Pénaud, Maxim, Ader et Langley. Le succès de M. Santos-Dumont produit, d'ailleurs, un grand enthousiasme, et c'est justice. Enhardis par cet exemple et par les résultats qu'on prête aux frères Wright, stimulés par les concours qu'organisent de généreux donateurs, quelques jeunes hommes énergiques multiplient les essais, s'entraînant à modifier les formes jusqu'à obtenir la sustentation et la stabilité sur des parcours dont la progression déconcerte les plus optimistes; les records abattent les records; de une minute et demie quand, au début de 1908, M. Farman gagne le prix du kilomètre, la durée des vols passe, huit mois plus tard, à une heure et demie avec Wilbur Wright. Tout cela en quelques années, et souvent avec des moyens dont la précarité fera peut-être sourire nos arrière-petits-fils, à moins qu'ils n'en admirent la hardiesse. Faites appel maintenant, Messieurs, à ce sens de la continuité dont je parlais tout à l'heure, et demandez-vous s'il est vraisemblable que les années et les années qui vont suivre demeurent impuissantes à transformer, au point de les rendre utiles, les hâtifs appareils de démonstration que, pour nos aviateurs français du moins, une brève année a suffi à créer et à mener au succès.

Au reste, l'examen direct des perfectionnements qu'on peut dès maintenant concevoir ne fait que fortifier cette impression. Certes, si on les considère isolément, la plupart n'apparaissent pas, à l'heure actuelle, comme devant être immédiatement très profonds; toutefois, quelques-uns, tels que les procédés de stabilisation, sont susceptibles de faire progresser puissamment

la pratique de l'aéroplane. Quoi qu'il en soit, ils donnent, dès maintenant, dans leur ensemble, une marge suffisante pour permettre de conclure nettement à la conquête de l'air par le nouveau mode de locomotion.

MOTEUR.

A tout seigneur, tout honneur : c'est donc par le moteur que je vais commencer ce rapide examen.

Aujourd'hui, ce n'est plus à 7 kg par cheval, mais à 2 kg et même moins qu'on est descendu, en comptant, comme on doit le faire, tous les organes et accessoires nécessaires au fonctionnement, ainsi qu'une suffisante provision de combustible. Les progrès qu'on peut encore espérer dans cette voie auront évidemment un effet utile de moins en moins sensible. Ainsi, quand le moteur pesait encore 10 kg par cheval, une amélioration de 80 0/0 donnait un bénéfice de 8 kg, soit le poids de cinq à six hommes pour un moteur de 50 ch ; avec le poids actuel de 2 kg par cheval, la même amélioration donnerait seulement un bénéfice de 1,6 kg, soit le poids d'un homme pour un moteur de 50 ch, et nécessiterait d'énormes perfectionnements mécaniques. C'est là proprement une progression géométrique décroissante, et il n'y aurait bientôt plus aucun intérêt pratique à en poursuivre le développement, si l'on n'envisageait que l'augmentation du poids utile. Aussi n'est-ce plus à ce point de vue que l'allégement du moteur devient intéressant : avec une puissance motrice dont le poids sera de plus en plus réduit, on arrivera sans effort à la commande automatique d'appareils stabilisateurs, et au doublement du moteur de façon à se prémunir contre une panne. Donc, en l'état actuel, l'allégement de la puissance motrice est encore un perfectionnement très digne d'intérêt.[1]

Pour un moteur d'un genre déterminé, il résultera de divers progrès, parmi lesquels on peut distinguer : 1° l'allégement de la machinerie proprement dite ; 2° la plus grande fréquence d'utilisation des masses ; 3° l'amélioration du pouvoir calorifique du combustible.

1° Sur le premier point, j'ai donné, dans mon Mémoire de 1893, les indications suivantes, auxquelles je trouve peu de chose à ajouter à quinze années d'intervalle : « L'étude de l'agencement des diverses parties ; la suppression de toutes les pièces

inutiles, et l'emploi, pour les autres, du métal qui travaille le mieux, à égalité de poids, en vue de l'effort à supporter; le choix des formes, solides d'égale résistance, évidements, etc...; le soin d'éviter les chocs, d'équilibrer les organes animés de mouvements rapides, et enfin de confier, quand cela se peut, plusieurs fonctions à une même pièce : tels sont, rapidement énumérés, les principaux moyens de réaliser la légèreté de la machinerie. On fonde de grandes espérances sur l'emploi de l'acier au nickel dans la construction des pièces actives... Quant à l'emploi de l'aluminium, seul ou à l'état d'alliage, pour la construction des organes mêmes de la machine, on n'y peut guère songer, pour le moment du moins. » Aux aciers au nickel, les progrès de la métallurgie en ont ajouté d'autres, notamment les aciers au vanadium; d'autre part, en même temps que les bronzes d'aluminium sont employés pour les pièces mixtes, l'aluminium est devenu d'un emploi possible et avantageux pour quelques pièces actives : c'est ainsi que notre collègue M. Tony Huber a installé à Lille un moteur dont le piston est constitué avec ce métal sans alliage; le fonctionnement industriel s'est montré excellent;

2° Si nous nous en tenons au moteur à explosion, qui a pris, au point de vue de la légèreté, une avance considérable sur les autres moteurs thermiques, la fréquence d'utilisation des masses résultera d'une grande vitesse angulaire, dans les limites compatibles avec la compression préalable et avec la démultiplication nécessaire à une bonne utilisation de l'hélice; elle résultera aussi et surtout de l'emploi de cylindres multiples judicieusement agencés. A une époque où le moteur à pétrole était peu connu en France, je montrais l'intérêt d'employer quatre cylindres disposés de telle sorte qu'au moment où l'explosion se produit dans l'un d'eux, les trois qui restent soient chacun à une des phases du cycle; je signalais les excellentes machines que construisaient alors MM. Forest et Gallice, et qui auraient permis d'obtenir depuis longtemps des résultats appréciables dans la navigation aérienne. C'est du reste en vue de cette application, pour un ballon dirigeable projeté par Gaston Tissandier, que M. Fernand Forest fit breveter, en 1888, un moteur ne comprenant pas moins de trente-deux cylindres à ailettes, en quatre groupes de huit; ces cylindres rayonnants suppriment le volant, et utilisent les masses pendant de plus longues périodes, en actionnant un seul arbre à cames. M. Forest projeta ou

exécuta ultérieurement divers autres types, parmi lesquels deux moteurs de dix-huit et de vingt-quatre cylindres, dont les projets furent primés par le Ministère de la Marine au concours de sous-marins de 1896.

S'il convient d'attribuer, pour une large part, l'avènement du moteur léger à pétrole au prodigieux essor de l'industrie automobile, il est donc équitable d'y associer les recherches entreprises en vue de la locomotion automobile sous toutes ses formes. Ainsi encore, ce fut pour battre les records dans les courses de canots automobiles que M. Levavasseur construisit son moteur Antoinette, qui montra de précieuses qualités de solidité, d'endurance et de régularité aux régates de Monaco, en 1904; appliqué à la navigation aérienne, ce moteur conduisit au succès l'aéroplane de M. Santos-Dumont, puis ceux des frères Voisin. Il est généralement à deux groupes de quatre cylindres, avec chemise d'eau pour le refroidissement si la puissance doit être un peu élevée. Enfin, c'est directement en vue de l'aéroplane que M. Esnault-Pelterie a créé un moteur léger des plus remarquables : la commande des soupapes à tiroir s'y fait par une seule came, et les cylindres, en nombre impair, sont groupés en deux séries au dessus de l'horizon, au lieu de former une étoile complète; cette disposition originale permet d'obtenir un graissage excellent, en évitant l'afflux de l'huile qui se fût produit dans les cylindres inférieurs. Je vous renvoie, pour les détails, à la récente Communication de notre distingué collègue, qui a obtenu l'an dernier le prix annuel de notre Société (1).

Il convient de persévérer dans la voie excellente suivie par ces divers ingénieurs, en ne sacrifiant jamais rien de la solidité ou du bon fonctionnement, en ayant un refroidissement énergique et un graissage abondant. L'allègement du moteur d'aéroplane ne doit plus, en aucun cas, être obtenu au détriment du coefficient de sécurité et de la régularité parfaite pendant toute la durée de fonctionnement pour laquelle il a été établi. Certes, il y a quelques années, quand il s'agissait des premiers vols, on a pu, assez légitimement, chercher à réaliser le moteur léger coûte que coûte, pour des envolées d'ailleurs éphémères; mais, aujourd'hui, il faut beaucoup moins obtenir un moteur plus léger, quelque désirable qu'il soit, que conserver la légèreté acquise en augmentant son impeccabilité et sa durée d'emploi;

(1) R. Esnault-Pelterie : *Moteur extra-leger a explosion*. Bulletin de décembre 1907.

3° Dût-on arriver à un poids insignifiant pour les organes du moteur, l'allégement de la puissance motrice sera toujours limité par le poids du combustible dont il s'agit de transformer l'énergie latente en travail mécanique : d'où l'intérêt à employer des combustibles à pouvoir calorifique plus élevé, soit qu'on en découvre de nouveaux, soit qu'on injecte de l'oxygène dans les gaz carburés, ainsi que l'ont proposé MM. Jaubert et G. Claude; la mise au point de ces procédés ne manquerait pas d'intérêt.

A ces considérations générales je pourrais en ajouter d'autres, relatives au choix des agents et des procédés pour transformer l'énergie en travail mécanique; mais une telle étude demanderait tout un Mémoire, et sortirait du cadre de cette Communication déjà longue. Au reste, le moteur à explosion, tel que nous le possédons aujourd'hui, suffit aux besoins de l'aéroplane; la preuve en est dans ce fait que l'appareil Wright, qui a donné à ce jour les plus longues performances, possède à bord un moteur assurément d'une grande endurance, mais inférieur, comme légèreté à ceux que quelques industriels français sont en état de construire. Dans ces conditions, il est prématuré de nous demander aujourd'hui si l'avenir ne trouvera pas beaucoup mieux dans une tout autre voie, par exemple avec les turbomoteurs, ou avec des explosifs donnant une puissance plus considérable que les mélanges détonants actuels. Pour l'aéroplane, des perfectionnements d'un autre ordre sont plus immédiatement désirables.

Qu'il me suffise donc d'avoir montré la possibilité et l'intérêt d'alléger encore la puissance motrice. Cela permettrait, comme je le disais, de doubler le moteur, ce qui est un gage de sécurité, ou d'augmenter le poids utile, ou enfin de réduire les surfaces sustentatrices, ce qui serait propice au maintien de profils favorables. Il ne faudrait pas croire cependant, — et cette rapide analyse l'indique suffisamment, — que cet allégement soit susceptible de bouleverser les conditions du problème du plus lourd que l'air. Je sais que quelques aviateurs, prompts à l'enthousiasme, nourrissent cet espoir, et je crois que l'origine de cette opinion vient de l'interprétation erronée d'une Note fameuse du colonel Renard à l'Académie des Sciences sur l'hélicoptère (1). Il n'est donc pas inutile de limiter ici la signification de cette Note.

L'hélicoptère est un appareil dans lequel la sustentation est

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 23 novembre 1903.

produite par la rotation en sens inverse de deux hélices ayant un axe vertical commun. Renard a démontré que la charge maximum que peuvent soulever ces hélices est inversement proportionnelle à la sixième puissance du poids par cheval du moteur : il en résulte que ce maximum croît d'une façon extrêmement rapide quand le poids par cheval diminue ; ainsi, d'après les calculs de l'illustre ingénieur, il a les valeurs théoriques suivantes, pour des hélices définies par la qualité 1,14 :

Avec un poids par cheval de.	3 kg	2 kg	1 kg
la charge maximum est. . .	220 kg	2.500 kg	160.000 kg

Mais ce sont là des limites théoriques, des charges qu'il est impossible de dépasser avec les hélices dont il s'agit, ce qui ne veut nullement dire qu'on puisse les atteindre. Le problème comporte d'autres sujétions, et avant tout la possibilité de construire les hélices pour des charges si vertigineusement croissantes. Ainsi, pour atteindre le maximum théorique de 160.000 kg, il faudrait une puissance de 960.000 ch, donc un moteur de 960 t, soit six fois la charge soulevée, ce qui est déjà une disproportion flagrante, qui se traduirait par un prix ruineux en admettant même qu'elle fût admissible. Il serait d'ailleurs matériellement impossible de construire les hélices capables de soulever ce poids de 960 + 160 = 1.120 tonnes.

On trouve, dans la Note même du colonel Renard, le correctif qui résulte de la construction des hélices, et qui réduit singulièrement les charges ; ainsi, pour le type d'hélices qu'il considérait, les charges données ci-dessus tombent aux valeurs suivantes :

Charge maximum. . . .	220 kg	2.500 kg	160.000 kg
Charge compatible avec la construction. . . .	139 kg	340 kg	657 kg

Or, avec l'aéroplane, les charges utiles réalisables sont plus élevées, et cela justifie la faveur dont il jouit à l'heure actuelle, d'autant qu'il est plus sûr et incomparablement meilleur que l'hélicoptère au point de vue de la vitesse, autre caractéristique essentielle de tout mode de transport.

Après ces considérations d'ordre technique sur les moteurs, il m'est agréable de vous communiquer une nouvelle d'ordre expérimental. Comme Président de la Sous-Commission des Moteurs instituée par la Commission permanente internationale d'Aéronautique, j'ai pris, avec notre dévoué Collègue M. Lumet, l'initia-

tive d'un concours international de moteurs légers, qui aura lieu en février 1909. Le programme en a été arrêté par la Commission technique de l'Automobile-Club, que préside si brillamment notre éminent ancien Président M. Loreau. Pour être classés, les moteurs ne devront pas peser plus de 4 kg par cheval effectif, avec une puissance maximum de 80 ch-vapeur; dans ce poids seront compris tous les organes nécessaires au fonctionnement régulier, avec une heure d'approvisionnements en essence, eau de refroidissement, huile ou graisse. Il est inutile d'ajouter que la Société des Ingénieurs Civils est largement représentée dans le jury.

Hélices.

Dans la première Partie de ce Mémoire, je vous ai montré de quelle prudence il faut user dans l'établissement de la théorie ; j'ai conclu que nos connaissances actuelles sur le mode d'écoulement des fluides et sur les pressions locales qu'ils exercent ne sont pas suffisantes pour nous permettre de prétendre à expliciter, par le calcul seul, les multiples influences qui agissent sur l'effort de traction et sur la puissance motrice à développer. Certes, on y arrivera quelque jour, mais seulement par la synthèse des résultats fournis par l'analyse expérimentale : analyse extrêmement délicate, qui réclame un esprit à la fois méthodique et ingénieux, et qui exigera sans doute des années de travail. En attendant, je ne crois pas inutile de rappeler ce vœu, formulé en 1895 : « C'est surtout à l'expérimentation que les constructeurs des navires demandent des renseignements. Leur tâche est facilitée par la publication de catalogues où sont soigneusement enregistrés les essais et conditions d'essais des hélices qui propulsent les navires de la Marine nationale. Des catalogues semblables dressés pour les hélices aériennes seraient de la plus haute utilité pour les aviateurs (1) ».

En somme, on sait aujourd'hui peu de chose de positif en dehors des expressions générales données par le colonel Renard pour l'effort de traction et la puissance, en fonction du nombre de tours n et du diamètre d :

$$\Theta = \alpha n^2 d^4,$$

$$\mathcal{E} = \beta n^3 d^5,$$

(1) R. Soreau et E. Henry. L'*Aéronaute*, mars 1895.

où α et β sont des coefficients que le grand ingénieur, avec une prudence éclairée, laissa volontairement indéterminés.

C'est pourquoi, sans m'attarder à des règles basées sur des théories contestables, je me bornerai ici à vous présenter deux considérations, l'une d'ordre général, l'autre relative à la construction.

1° L'hélice doit-elle être de dimensions réduites et tourner très vite, ou doit-elle avoir un grand diamètre et tourner lentement?

Hippocrate dit oui, mais Gallien dit non.

Pendant assez longtemps, la première école eut ses adeptes en Angleterre et en Amérique, tandis que la seconde comptait ses partisans en France. De même que, dans la Marine, on ne limite les dimensions de l'hélice que par la nécessité de l'immerger, en laissant au dessus d'elle une couche d'eau suffisante, de même nos premiers ballons dirigeables eurent tous de grandes hélices. Celle de Giffard, à trois branches, avait 3,40 m de diamètre et tournait à 110 tours par minute; Dupuy de Lôme, l'illustre créateur des navires cuirassés, adoptant les vues de la Marine, porta le diamètre à 9 m et réduisit le nombre de tours à 20 par minute; Tissandier prit 2,80 m et 120 tours, Renard et Krebs 7 m et 55 tours. A l'étranger, tout au contraire, Maxim donnait seulement 0,645 m et 0,445 m de diamètre aux hélices de ses aéroplanes, pour 2.300 et 2.800 tours : c'était exagéré, même si l'on tient compte de l'énorme vitesse de translation qu'il prétendait obtenir.

Quand le moteur à pétrole multicylindrique, tournant à 1.000 tours et plus, eut fait en France les progrès que vous savez et s'imposa à la navigation aérienne, les hélices à allure rapide y devinrent presque aussitôt en faveur, moins peut-être parce qu'on les considérait comme bonnes au point de vue aérodynamique que parce qu'on estimait avantageux de les caler directement sur l'arbre et qu'on redoutait les inconvénients d'un démultiplicateur. Ainsi, par un revirement où l'on semble avoir dépassé la mesure, et malgré les réserves que nous fûmes quelques-uns à formuler, l'école française brûla ce qu'elle avait adoré. Dans sa remarquable Communication à notre Société (1), M. H. Julliot écrivait : « Je suis personnellement d'avis que dans

(1) H. Julliot, *Le Dirigeable Lebaudy*, Bulletin de mai 1905.

l'air, fluide léger et compressible, et animé, en général, de mouvements internes variés, *il faut* faire tourner les hélices à des vitesses que nous considérons encore comme grandes, et les théories qui concluent à la marche lente ne tiennent pas compte de toutes les circonstances. » Aussi, les hélices du dirigeable *Lebaudy* avaient 2,44 m de diamètre et tournaient de 800 à 1.100 tours. Telle était aussi l'allure des hélices du *Zeppelin* de 1900, qui n'avaient que 1,15 m de diamètre, mais portaient quatre branches. Les mêmes idées prévalurent pour nos aéroplanes, et les hélices des appareils Voisin, de 2 m environ, tournent, comme le moteur, de 1.000 à 1.400 tours.

Cependant, quelques ingénieurs résistèrent à cet entrainement. Tout en tenant compte des nécessités résultant de la démultiplication, pour laquelle on ne peut guère aller au delà de 1/4, ainsi que des vitesses de translation sans cesse croissantes, ils adoptèrent pour l'hélice une allure beaucoup moindre. Dans les ballons dirigeables, la *Ville-de-Paris* a deux grandes hélices de 6 m, genre Renard, tournant seulement de 120 à 180 tours; le *Clément-Bayard* a une hélice Chauvière de 5 m de diamètre qui tourne de 380 à 400 tours; le major von Parseval, dans son dirigeable n° 2, a une hélice de 4,30 m tournant à 260 tours. Pour les aéroplanes, le *Wright* du Mans a deux hélices de 2,50 m, tournant à 400 tours, et la masse d'air intéressée est 6 fois plus grande par cheval que dans la plupart des aéroplanes français.

Où est la vérité? Certes, les petites hélices ont l'avantage du faible poids et du faible encombrement, en même temps qu'elles permettent d'éviter la perte inhérente à toute démultiplication. Par ailleurs, M. Julliot a raison quand il signale que les conditions du problème sont multiples; ainsi, il ne faut pas considérer simplement le cylindre d'air brassé par seconde, comme on le fait dans certaines théories simplistes : d'autant que le diamètre de ce cylindre s'étend au delà de celui de l'hélice, et qu'il est avec celui-ci dans un rapport inconnu, qui influe sur le rendement. Pour que ce dernier soit élevé, il y a intérêt à ce que le rapport de ces diamètres soit peu supérieur à 1; il convient d'éviter les projections obliques violentes, les tourbillons, etc., qui sont autant de pertes de charge; de même que les voilures d'aéroplane, les ailes doivent être longues et étroites, et avoir une courbure bien étudiée; il importe que leur surface soit géométriquement régulière, sans ressauts ni coutures, par-

faitement lisse, aussi bien à l'avant qu'à l'arrière : à cet égard, les hélices en bois de l'aéroplane Wright et celle du *Clément-Bayard*, construite par M. Chauvière, sont très remarquables et bien préférables aux hélices à feuilles métalliques fixées sur des bras en acier faisant saillie sur le dos des pales : cette saillie absorbe une notable partie de la puissance, surtout avec les hélices à allure très rapide.

Une expérimentation méthodique et sévère, l'exploration manométrique de l'air mis en mouvement, l'étude successive des diverses caractéristiques, pourront seules nous bien fixer sur les meilleures règles de construction. Encore ne le serons-nous que d'une façon toute relative, c'est-à-dire eu égard aux conditions que présente l'aéroplane, notamment comme voilure et comme résistance à l'avancement; telle forme d'hélice, bonne pour un appareil marchant à 60 km à l'heure, peut ne pas convenir à un aéroplane marchant à 100 km, si l'on se contente seulement de modifier le pas.

L'examen attentif des meilleures expériences sur les hélices m'a donné cette opinion : 1° d'une part, le rendement de beaucoup d'hélices d'aéroplanes actuels semble susceptible d'être assez notablement amélioré ; 2° d'autre part, aux vitesses de translation que nous réalisons, soit 1 km environ par minute, les très grandes vitesses de rotation des moteurs à explosion multicylindriques donnent à l'hélice un rendement médiocre, si on la cale directement sur l'arbre moteur; il convient de démultiplier au moins de moitié : on est ainsi conduit à de grandes hélices, qu'on peut être amené à doubler, ce qui, nous l'avons vu, est d'un très réel intérêt pour la stabilité des aéroplanes;

2° La considération que j'ai à vous présenter relativement à la construction des hélices est due au clair génie du colonel Renard (1). Ce mode de construction consiste essentiellement à donner aux bras une direction telle qu'ils travaillent seulement à l'extension. Soit *(fig. 49)* XX′ l'arbre d'une hélice dont l'aile est représentée en S, et le bras en SO. La rotation ayant lieu dans le sens de la flèche, trois forces passent par le point S : la poussée A ; la résistance à la rotation B, qui varie, dans les hélices bien construites, entre le 1/4 et le 1/5 de A ; enfin la force centrifuge C. La fatigue du bras provient donc surtout de la poussée A, qui lui impose un fort moment fléchissant. En

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 7 novembre 1904.

l'inclinant au 1/10e environ sur OS dans le méridien OSA, de façon qu'il soit dans le prolongement de la résultante des forces A et C, il ne travaille plus guère qu'à l'extension, car la force B produit un moment fléchissant très faible. On peut du reste annuler ce dernier, en interposant en J un joint à la Cardan,

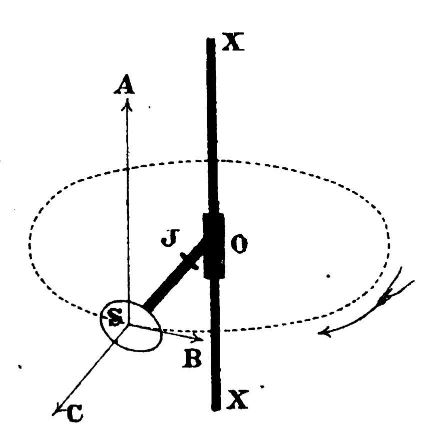


Fig. 49

grâce auquel le bras prend de lui-même la direction de la résultante des trois forces A, B, C. Comme celles-ci sont proportionnelles au carré de la vitesse, leur direction est invariable dans une hélice donnée ; dès lors, on peut ensuite supprimer le joint, en donnant au bras la direction qu'il a permis de déterminer expérimentalement. Le colonel Renard a présenté à l'Académie des hélices sustentatrices de 2,50 m de diamètre, restant parfaitement indéformables sous les effets de la poussée, bien que leur poids ne fût que de 3 kg. C'est d'après ces vues que MM. Surcouf et Kapférer ont construit les hélices de plusieurs de leurs dirigeables, mais ils n'ont pas cru devoir supprimer le Cardan.

Les hélices Renard à grand diamètre ont aussi été étudiées par MM. Ricaldoni et Crocco, des aérostiers militaires italiens, avec un ingénieux dispositif permettant de faire varier l'orientation des pales, en cours de marche, de façon à conserver le rendement. Les deux savants officiers ont appliqué ces hélices à leurs remarquables hydroplanes.

Au lieu de rechercher l'allégement du bras, on peut encore, grâce à l'artifice du colonel Renard, se proposer d'augmenter le

diamètre des ailes, sans qu'elles aient à subir des déformations inacceptables sous l'effet des moments fléchissants : je considère que c'est là une excellente condition d'efficacité.

L'amélioration du rendement des hélices actuelles donnera évidemment d'aussi heureux effets que l'allégement du moteur, et la combinaison de ces deux perfectionnements est d'un bon augure pour l'avenir de l'Aviation. Toutefois, pour les très grandes vitesses de translation de 200 km par heure auxquelles les aviateurs pensent déjà, la propulsion par l'hélice ne sera pas sans susciter de sérieux embarras. Peut-être serait-on amené, pour de plus grandes vitesses de régime, à employer des propulseurs à réactions utilisant la puissance vive de l'explosion par un mécanisme tout différent.

Surfaces.

1° Occupons-nous d'abord des surfaces sustentatrices.

Elles doivent être tout particulièrement soignées, présenter une continuité géométrique impeccable, avoir des lignes de courbure d'une grande pureté, être exemptes de coutures, de rivetages apparents, et même de rugosités. Ces prescriptions, faciles à formuler, sont d'une réalisation délicate : ainsi, avec une toile tendue sur un cadre, les haubans et traverses destinés à assurer la rigidité de ce cadre ne doivent pas donner à la voilure, sous l'effet de la pression, le moindre ressaut *transversal* qui puisse contrarier l'écoulement de l'air : on y arrivera par exemple en les noyant entre deux toiles suffisamment écartées, dont l'une forme la surface inférieure, et l'autre la surface supérieure de la voilure. Il n'est pas jusqu'au vernis qui n'abaisse le coefficient d'efficacité, s'il est grossièrement étendu et présente du grain.

Comme formes, comme courbure, comme poli, l'aile de l'oiseau est un modèle inimitable, mais dont on devra toujours s'inspirer. L'interprétation et la comparaison des mesures faites sur le vol des planeurs et sur celui des aéroplanes semblent montrer, d'après ce qui a été vu dans la première Partie, que le coefficient d'efficacité K est une fois et demie à deux fois plus grand pour l'aile immobile que pour les meilleures voilures construites jusqu'ici par les aviateurs. Une amélioration intéressante est donc possible, encore qu'elle soit limitée. Mais l'amélioration principale résultera de l'augmentation de la charge par mètre

carré de la voilure. A ce point de vue, on fait déjà beaucoup mieux que la nature.

Outre l'influence de l'allongement, de la progression de la courbure tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal, il y aura lieu d'étudier celle de la forme du bord d'attaque et de la flexibilité de la partie arrière, qui paraissent jouer l'une et l'autre un rôle intéressant dans la qualité sustentatrice de l'aile et dans la stabilité du volateur. A maintes reprises, j'ai fait ressortir que c'est surtout la région antérieure qui porte : c'est à ce fait qu'est due l'importance de l'allongement, lequel peut quadrupler la réaction par rapport au plan carré de même étendue ; c'est encore à ce fait qu'il faut attribuer la plus grande efficacité d'une voile de bateau convenablement trouée, bien qu'il y ait réduction de la surface effective. Il y a beaucoup d'artifices pour multiplier le bord d'attaque, mais il en est peu qui conviennent : ainsi, la voilure en persiennes de l'aéroplane Phillips n'est pas recommandable ; il aurait été pré-

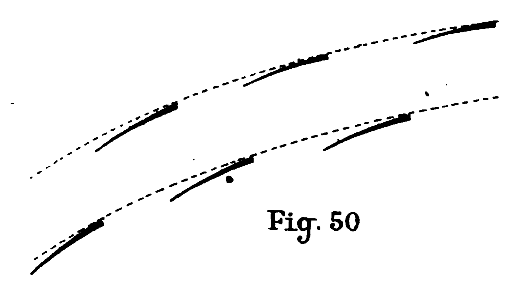


Fig. 50

férable de placer les lames, non pas verticalement, mais suivant deux courbes *(fig. 50)*, de façon que l'écoulement sur une surface ne gênât pas l'écoulement sur les surfaces postérieures. C'est un dispositif basé sur le même principe que j'ai préconisé ici, dans la première étude qui ait été publiée sur le déversement des dirigeables, avant que l'emploi d'étoffes caoutchoutées ait permis de placer directement sur leur poupe les papillons, d'un effet si sûr, imaginés par notre Collègue M. Julliot.

Quant à la partie arrière, il existe des moyens d'éviter l'effet de turbine, médiocrement sustentateur, en la forçant à prendre un point d'appui plus énergique sur les filets fluides. On pourrait par exemple, donner à la voilure des tensions périodiques progressives, coupées d'une détente brusque, car, si l'on se contentait de tendre l'arrière, le supplément de réaction ne serait qu'éphémère, puisque les filets d'air prendraient bientôt un

nouveau régime où se reproduirait l'effet de turbine. Dans cet ordre d'idées, il suffit de mouvements d'une faible amplitude, et la preuve en est dans la remarquable efficacité du gauchissement de la voilure Wright, obtenu par de très petits mouvements de la main qui commande le levier.

Bien entendu, aucun de ces dispositifs ou de moyens analogues n'est applicable à l'aéroplane s'il n'est réalisable sans en compliquer la construction. Leur étude n'en présente pas moins un très réel intérêt, qui peut amener quelque jour à des systèmes de voilures d'une plus grande efficacité.

2° Considérons maintenant les surfaces qui offrent de la résistance à l'avancement. Il est tout à fait essentiel de diminuer celle-ci, dont le rôle néfaste a été exactement déterminé dans les développements techniques de la première Partie. Cette nécessité est d'autant plus pressante que l'Aviation s'oriente vers les grandes vitesses, où semble être l'avenir de l'aéroplane.

M. Farman a pu écrire très justement « que le poids a moins d'importance que la résistance à la pénétration, c'est-à-dire qu'une pièce quelconque un peu plus lourde, mais plus fuselée, est préférable à une pièce légère offrant de la résistance à l'avancement ». Il faut donc multiplier ces formes fuselées, mettre une proue devant le moteur, éviter les réseaux de haubans. La résistance de ces derniers est beaucoup plus grande qu'on ne le suppose d'ordinaire ; leurs vibrations font que la surface qu'ils opposent à l'écoulement de l'air est notablement plus grande que celle résultant de leur diamètre ; Dupuy de Lôme, qui s'y connaissait, estimait que dans son dirigeable, cependant court et trapu, la résistance des cordes et des balancines était supérieure à celle du ballon proprement dit. Aussi, au point de vue de la résistance, le biplan est-il généralement très inférieur à un monoplan convenablement établi : d'une construction plus aisée, d'un entretoisement commode, d'une stabilité qui s'est montrée meilleure jusqu'ici, le biplan exige, en effet, des montants ou des haubans nombreux, afin de donner une rigidité suffisante à la véritable poutre qu'il constitue. Ainsi, le monoplan Esnault-Pelterie, qui n'a que quatre haubans judicieusement placés, a une résistance à l'avancement beaucoup moindre que les biplans des frères Voisin, qui rachètent l'inconvénient d'un entretoisement important par le soin apporté à cette partie de la construction. Le biplan Wright, dont la voilure est si

remarquable au point de vue de l'écoulement de l'air, a par contre un entretoisement assez fruste qui donne une résistance à l'avancement sur laquelle il y a certainement à gagner : il en résulterait encore quelque abaissement de la puissance motrice, déjà moitié moindre de celle qui est nécessaire avec d'autres aéroplanes, pour un poids total qui est sensiblement le même.

Pour ma part, je crois que le monoplan sera, dans l'avenir, l'aéroplane de tourisme pour un très petit nombre de passagers, quand on l'aura doté d'une stabilité qui lui fait actuellement un peu défaut.

Stabilité.

Cette question de la stabilité est devenue la plus importante de toutes, depuis que sont construits des moteurs suffisamment légers.

J'ai montré que, dans un aéroplane, il y a trois sortes de stabilités : la stabilité verticale de route, la stabilité horizontale de route, et enfin la stabilité latérale propre de l'aéroplane.

La stabilité verticale de route donne de la rigidité à la trajectoire dans le plan vertical, en même temps qu'elle assure la fixité de l'angle d'attaque de la voilure. Elle peut s'obtenir statiquement par une répartition judicieuse des surfaces, telles qu'empennage horizontal, volet limitant les déplacements relatifs du centre de gravité et du centre de pression, etc.

La stabilité horizontale de route donne de la rigidité à la trajectoire dans le plan horizontal. Elle peut être obtenue statiquement par un empennage vertical, une quille par exemple ; mais il y a lieu de craindre que la stabilité latérale propre n'en soit compromise : je considère donc que ce procédé doit s'effacer devant ceux qui assureraient celle-ci et qui donneraient, du même coup, la stabilité horizontale de route. J'en ai conclu que la quille, préconisée par quelques aviateurs, peut être plus nuisible qu'utile; elle n'est indispensable que si, en son absence, le centre de pression latérale se trouvait en avant du centre de gravité. Toutefois, la suppression, ou plus exactement la réduction de la résistance latérale, excellente à mon avis pour la stabilité propre, ne va pas sans quelques inconvénients : l'aéroplane obéit faiblement

au gouvernail de direction et prend difficilement les virages, qu'il convient alors d'amorcer par une intervention dynamique, le gauchissement par exemple.

Reste la stabilité latérale propre, de beaucoup la plus délicate à réaliser. La finesse des formes, la création de filets d'air réguliers déterminant, avant le passage même de la voilure principale, une proue fluide qui prépare le lit des molécules sur lequel cette voilure vient glisser, l'absence de tout mouvement violent sont d'excellentes conditions pour cette stabilité latérale, mais elles sont insuffisantes. L'analyse du problème m'a conduit à cette conclusion : si on recourt à des moyens statiques, la stabilité latérale propre est proportionnelle à uV, u étant la vitesse qui fait chavirer l'aéroplane et V sa vitesse de translation ; si l'on recourt à des moyens dynamiques, elle est proportionnelle à V^2, c'est-à-dire beaucoup plus considérable. Le premier procédé peut donc convenir avec des aéroplanes très bien établis et possédant un couple de rappel latéral important, ce qui donne un roulis un peu dur par embardées; le second procédé est bien préférable, car son efficacité croît rapidement avec la vitesse de translation.

Dans le biplan Wright et le monoplan Esnault-Pelterie, la stabilité latérale est obtenue dynamiquement par l'intervention du pilote, qui gauchit la voilure ; la maîtrise des frères Wright leur permet de se jouer ainsi du vent. Mais le moyen, très efficace, n'est pas sans danger puisqu'il dépend du sang-froid et de l'habileté du pilote ; supposez que la présence d'esprit de ce dernier soit un instant en défaut, qu'un accident ou même un incident détourne son attention ; supposez simplement un malaise, une crampe de la main, par exemple (Wilbur Wright tient constamment un levier dans chaque main) : la sécurité est compromise. Comme je le remarquais plus haut, l'intervention soutenue du pilote est admissible pour des aéroplanes de sport, mais non pour les aéroplanes-navires qui feront suite à l'ère actuelle ; on sera alors à peu près fatalement conduit, avec un nombre important de passagers, à recourir à des appareils de stabilisation automatiques. Je vous ai indiqué que le gyroscope, entre autres, paraît susceptible de donner à l'aéroplane une stabilité telle qu'on pourra le croire guidé par d'invisibles rails : la mise au point de ce procédé est délicate, mais n'offre pas, à tout prendre, de plus grandes difficultés que celles rencontrées dans

nombre de problèmes mécaniques analogues, la régularisation des machines par exemple.

Au demeurant, les pulsations et les sautes du vent, qui constituent la principale cause d'instabilité et qui ont une influence notable sur les aéroplanes à faible vitesse, gêneront beaucoup moins les aéroplanes marchant à 150 ou 200 km à l'heure, dont je vais rappeler le très grand intérêt.

Transformation rationnelle des Aéroplanes

Cette rapide analyse des perfectionnements presque immédiatement réalisables dans les organes essentiels de l'aéroplane et dans la stabilité montre qu'on peut faire un large crédit au nouveau mode de locomotion. En particulier, quand sera acquise une stabilité que j'entrevois presque absolue, l'aéroplane vraiment pratique sera né.

Avant d'esquisser, à larges traits, l'avenir de l'aéroplane, je vais vous donner quelques indications générales sur les aéroplanes de l'avenir, car, en pareille matière, la fonction reste encore subordonnée aujourd'hui à la possibilité de créer l'organe. Bien entendu, je n'ai pas la prétention de vous décrire les appareils qui sillonneront l'air dans quelques décades. Mon but est plus modeste, et je veux seulement vous indiquer une voie rationnelle pour transformer les types, par étapes successives, grâce à des considérations purement techniques.

A cet égard, je vous prie de vous reporter à la Note que j'ai présentée cette année à l'Académie des Sciences, et que j'ai analysée dans la première partie de ce Mémoire. J'ai considéré un aéroplane ayant réellement volé, et j'en ai fait l'aéroplane originel d'une famille d'appareils géométriquement semblables, sauf en ce qui concerne les épaisseurs de la voilure et de son cadre, les diamètres des montants, des haubans, etc., de façon que toutes les pièces puissent résister aux nouveaux efforts développés, eu égard aux nouveaux poids et à la nouvelle vitesse de régime propre à chaque aéroplane. Ainsi posé, le problème est indépendant de toute théorie d'Aérodynamique, de toute idée préconçue ; ce n'est plus, et j'y insiste, qu'un simple problème de résistance des matériaux, dont les conclusions peuvent avoir le même degré de certitude que le calcul d'une poutre, d'un pont, etc.

Or, entre chaque aéroplane et le type originel, il existe une

relation $z = f(x, y)$ où z est le rapport des poids utiles, x le rapport de similitude, y le rapport des vitesses de régime ; les constantes de cette relation sont les caractéristiques connues de l'aéroplane originel. Jetez un coup d'œil sur l'abaque de la page 132 : chaque point du plan représente un aéroplane issu, par amplification, d'un aéroplane genre Voisin dont le point figuratif est $y = 1$, $z = 1$, d'où $x = 1$. Vous constatez que, pour une valeur donnée de x, il y a un aéroplane, caractérisé par une valeur particulière de la vitesse de régime, pour lequel le poids utile est maximum. On n'a donc aucun intérêt à augmenter au delà d'un certain rapport y la vitesse d'un aéroplane d'amplification x; et même, pour une vitesse trop grande, le poids utile devient moindre que celui de l'aéroplane originel. C'est que, pour obtenir une plus grande vitesse et résister aux efforts qu'elle détermine, il faut une grande puissance motrice et des organes très robustes, d'où une augmentation rapide du poids mort, qui arrive à ne rien laisser au poids utile. De même, pour obtenir une vitesse y fois plus grande, on n'a pas intérêt à agrandir les dimensions au delà d'un certain rapport x : car le poids de l'aéroplane, augmenté de celui du moteur nécessaire pour soutenir tout l'appareil à cette vitesse, absorberait la majeure partie du poids total, au détriment du poids utile.

Dans la famille issue de l'aéroplane genre Voisin que j'ai considéré, j'ai trouvé qu'avec des moteurs ayant même poids par cheval, des propulseurs de même rendement, des voilures de même coefficient d'efficacité, le maximum maximorum du poids utile s'obtient avec l'aéroplane ayant des dimensions supérieures de 10 0/0 seulement à celles de l'aéroplane d'origine ; mais sa vitesse doit être triple, soit 150 à 180 km à l'heure : alors le poids utile atteint une tonne. Je suis arrivé à des conclusions analogues pour la famille issue du monoplan Esnault-Pelterie.

Avec de telles vitesses et de telles charges, il faudra renforcer notablement les pièces et les armer en vue des efforts qu'elles auront à supporter. Ainsi les aéroplanes à grande capacité de chargement devront être robustes et pas beaucoup plus grands que les aéroplanes actuels, du moins dans les prochaines années, mais leur vitesse sera double ou triple de celles qu'on pratique aujourd'hui. Or, pour ces constructions nouvelles, on sera conduit à employer d'autres matériaux ; il faudra tout particulièrement se préoccuper de réduire leur résistance à l'avancement ; bref, on ne pourra se contenter de construire des

aéroplanes dérivant des appareils actuels strictement suivant les lois qui résultent du calcul précédent. Ces appareils nouveaux, dès qu'ils auront été mis au point et auront reçu la sanction souveraine de l'expérience, deviendront eux-mêmes les aéroplanes originels d'une nouvelle famille, et ainsi de suite.

Par ailleurs, on profitera bien évidemment, pour les établir, des progrès acquis dans la construction des moteurs, des hélices, des voilures, etc. Et c'est ainsi que, d'étapes en étapes, pourra se poursuivre une amélioration rationnelle et certaine.

Au point de vue technique, chaque époque peut se mesurer par les valeurs moyennes des caractéristiques telles que le poids par cheval π du moteur, approvisionnements compris, le rendement ρ de l'appareil moteur-propulseur, le coefficient d'efficacité K de la voilure, etc. Ainsi, l'époque actuelle se fixe par les valeurs moyennes $\pi = 2$ kg, $\rho = 0,5$, $K = 0,4$. Sans supposer aucune amélioration de ces caractéristiques, et par conséquent en se limitant à l'époque actuelle, on voit, d'après l'analyse technique du problème, qu'il est dès maintenant possible d'orienter la construction des aéroplanes dans des voies diverses. Pour les aéroplanes à grande capacité de chargement, il faut des appareils robustes, des vitesses de 150 km au moins, qui conviendront particulièrement au type monoplan, où la résistance à l'avancement est moindre, quand on l'aura doté d'une meilleure stabilité. Si l'on veut des allures plus modestes, tout en ayant des poids utiles importants, il faut augmenter le nombre des voilures ; dans cet ordre d'idées, on peut prévoir la prochaine substitution de triplans et de multiplans aux appareils actuels. De là, comme je l'ai remarqué plus haut, deux voies différentes pour réaliser les aéroplanes à grande capacité de chargement. Quant aux aéroplanes de tourisme, à faible poids utile et à vitesse moyenne, ce seront des monoplans, ou tout au plus des biplans relativement légers, emportant leur chariot à roues, pour qu'ils soient entièrement libres de leur itinéraire.

Quand les caractéristiques qui fixent la technique actuelle viendront à s'améliorer plus profondément, les orientations dans l'établissement des aéroplanes se modifieront suivant que l'amélioration portera davantage sur l'une ou sur l'autre. Cela, c'est le secret de l'avenir.

Mais on peut dire que l'aéroplane futur ne sera pas d'un type déterminé : il y aura au contraire des types divers, suivant les applications qu'on aura en vue, et notamment suivant les valeurs

qu'on voudra obtenir pour le poids utile et la vitesse de régime, ces deux caractéristiques essentielles de tout appareil de transport.

Parmi ces types, les aéroplanes à grande capacité de chargement, parcourant 150 à 200 km à l'heure, sont les plus intéressants et, en tout cas, les plus nouveaux; ils méritent donc de retenir notre attention.

Avec de telles vitesses et des masses de plusieurs tonnes, la puissance vive sera considérable et l'atterrissage semble devoir être très périlleux. Il y a donc lieu d'indiquer comment il convient de le faire, eu égard aux conditions d'établissement de ces aéroplanes.

Puisque l'on a recherché la grande capacité de chargement, l'allure de régime doit être évidemment voisine de l'allure $\sqrt{3}$ qui exige le minimum de puissance; toutefois, le moteur doit être capable de développer une puissance plus grande, et c'est dans une utilisation rationnelle de cette marge que paraît résider la solution du problème qui nous occupe.

Nous avons vu, en effet, qu'une dépense de puissance motrice supérieure à la puissance minimum correspond à deux allures et, par suite, à deux vitesses : ainsi, la table IV (page 79) montre que, avec un excès de 4 0/0 sur le minimum, les vitesses d'équilibre horizontal peuvent être 1,16 V_m ou 0,83 V_m, suivant l'inclinaison de la voilure; avec une excès de 15 0/0, les vitesses sont 1,33 V_m et 0,7 V_m. Si donc, des deux valeurs ainsi obtenues, on prend la plus grande comme vitesse de marche de l'aéroplane et la plus petite pour amorcer l'atterrissage, il semble qu'on ait ainsi un moyen de réaliser à la fois des parcours à grande vitesse, avec un atterrissage à une vitesse notablement moindre. En réalité, on ne peut utiliser aussi complètement, dans l'un et l'autre sens, l'excès de la puissance motrice. D'une part, en effet, la vitesse supérieure à V_m suppose une inclinaison très réduite et, par suite, un aéroplane serrant le courant de très près et possédant une remarquable stabilité longitudinale, puisque le moindre mouvement de tangage pourrait faire frapper le dessus de la voilure par le courant. D'autre part, la vitesse inférieure à V_m ne peut plus être calculée avec les formules que j'ai employées, dès que l'inclinaison devient un peu élevée, et les vitesses nécessaires sont plus grandes, en réalité, que ne l'indiquent ces formules.

Il n'y en a pas moins intérêt à obtenir les grandes vitesses de

marche en serrant de près le vent relatif, et à augmenter l'inclinaison pour atterrir, en utilisant toute la puissance du moteur. La vitesse d'atterrissage pourra ainsi être très largement réduite et, d'ailleurs, la pente sera aussi faible qu'on voudra. Toutefois, arrivé à quelques mètres du sol, il conviendra de freiner vigoureusement en inclinant fortement les surfaces mobiles : la fin de la descente s'effectuera alors suivant une pente d'autant plus grande qu'on aura freiné davantage, mais la proximité du sol rendra cette chute sans danger, car elle sera amortie par le matelas d'air interposé entre la voilure et le sol. On pourra d'ailleurs recourir à des amortisseurs mécaniques, tels que le frein oléo-pneumatique imaginé par M. Esnault-Pelterie, qui produit, malgré son faible poids, des effets très considérables.

Ainsi donc, contrairement à une opinion courante, le danger de l'atterrissage ne résulte pas de la mise en œuvre d'une grande puissance motrice. Avec des aéroplanes lourds, il serait plus réel à la suite d'une panne de moteur se produisant à une trop grande altitude, car le pilote ne serait plus maître de réduire la pente au dessous d'une certaine valeur. J'ai montré, dans la théorie des glissades, qu'on peut alors descendre à vitesse constante, sous une pente égale à $\frac{\Theta}{P}$; les coefficients indiqués à la page 113 donnent la valeur moyenne de cette pente pour les aéroplanes Farman, Esnault-Pelterie et Wright; avec des aéroplanes plus rapides et à plus grande capacité de chargement, elle ne sera pas beaucoup accrue, car si Θ est plus grand, il en est de même de P. D'autre part, Θ est proportionnel à $a + \frac{1}{a}$ et il y avait lieu d'indiquer ici à quelle allure il convient d'effectuer la glissade. Bien entendu, je suppose que l'aéroplane soit bon planeur, c'est-à-dire qu'il reste stable quand Θ disparait : c'est une des conditions d'établissement les plus essentielles.

La pente et la vitesse des glissades possibles donneraient lieu à un diagramme tel que celui de la page 97. J'ai montré que ces vitesses sont exactement les mêmes que dans le vol horizontal, avec moteur, effectué à la même allure. La seule différence avec le cas du moteur est que, pour chaque vitesse, les pentes d'atterrissage sont beaucoup plus raides : c'est pourquoi il est fréquent de voir les oiseaux terminer leurs glissades par quelques coups d'ailes, le corps redressé. Les amortisseurs seront donc encore plus nécessaires dans le cas de la panne du moteur.

SUR LES DANGERS DES VOYAGES EN AÉROPLANES.

Ainsi donc, l'atterrissage des aéroplanes lourds à grande vitesse exige des précautions sur l'efficacité desquelles les rapides progrès de l'Aviation ne tarderont pas à nous fixer. Je vais maintenant m'attacher à examiner les causes d'accidents de navires plus immédiatement réalisables. La question est d'importance, car, à l'heure actuelle, l'avenir de l'Aviation semble tout entier dominé par la crainte des dangers qu'on attribue généralement au nouveau mode de locomotion. Aussi je considère comme une partie intéressante de ma tâche d'essayer de vous convaincre qu'on s'exagère ces dangers. Si je vous donne cette conviction, vous êtes particulièrement bien placés pour la diffuser, et, ce faisant, vous serez des auxiliaires précieux pour le développement d'une des plus belles conquêtes du génie humain.

Je ne puis mieux faire que de vous citer les expériences suivantes, sans aucune valeur technique, mais fort instructives à ce point de vue. En 1905, le professeur Montgomery construisit un aéroplane ayant deux ailes, rigides à l'avant, mais susceptibles d'être gauchies à l'arrière par une manœuvre facile du pilote. Il résolut de lui faire décrire des glissades par un lancement des plus hardis : l'appareil monté était enlevé par une montgolfière, puis abandonné à lui-même à une certaine hauteur. Un débutant, du nom de Maloney, tenta l'aventure, et se laissa choir ainsi d'une hauteur de 800 pieds, soit plus de 250 m ; il décrivit une spirale un peu rapide, mais atterrit néanmoins sans accident. Le lendemain, nouvelle chute de 2 500 pieds, soit 800 m : l'expérience fut beaucoup mieux réussie, et l'atterrissage eut lieu à une vitesse relativement modérée. Il y eut ainsi cinq essais, dont un à 1 200 m ; dans le dernier, une des ailes se brisa, et l'infortuné Maloney vint s'abîmer sur le sol. Voilà, pensez-vous peut-être, une preuve singulière du peu de danger à s'aventurer en aéroplane ! Certes, le dénouement est tragique : mais veuillez considérer que, dans les conditions anormales de ces chutes, l'expérience, après tout, réussit 4 fois sur 5, soit avec un pourcentage de 80 0/0 ; considérez en outre que les futurs aéroplanes auront une stabilité incomparablement plus grande, et qu'au demeurant rien ne les forcera à voyager aux altitudes d'où se laissait choir un malheureux débutant.

Les accidents auront deux causes principales : la panne du du moteur, la rupture d'un organe essentiel. J'ai dit que l'allégement de la puissance motrice permet, dès aujourd'hui, de doubler le moteur, et il suffit d'imaginer un dispositif qui, en cas de panne, mette automatiquement en marche le moteur haut le pied, par exemple en utilisant la puissance vive des hélices. Quant à la rupture d'un organe essentiel, elle sera extrêmement rare, car l'aéroplane n'a pas, en cours de marche, à supporter les suppléments d'efforts, les chocs, etc., auxquels sont soumis les autres appareils de locomotion ; d'ailleurs les variations de vitesse, et par suite des efforts sur les organes, ont un champ pratique assez limité. Une rupture ne pourra donc résulter que d'un défaut dans la matière, d'un vice de construction ou d'un manque de surveillance : or une exécution soignée et une vérification minutieuse avant chaque voyage peuvent et doivent rendre presque impossibles les accidents par rupture. Quant aux chocs d'aéroplanes, ils supposent un encombrement des voies aériennes sur lequel, quant à présent, il serait prématuré de discuter.

Il est cependant un accident, propre aux appareils à deux hélices, qui pourrait être funeste : si l'une d'elles vient à s'arrêter ou à se fausser, il est impossible de conserver la stabilité latérale. C'est pourquoi, dans les appareils de ce genre, si intéressants, il me paraît nécessaire d'avoir un système débrayant automatiquement les hélices dès qu'elles donnent des poussées notablement différentes.

En résumé, les pannes peuvent être rendues très rares, et, au surplus, il ne faut pas s'en exagérer les dangers tant qu'on voyagera au dessus de campagnes présentant, en nombre suffisant, des terrains propices à l'atterrissage ; il en sera généralement ainsi quand l'aéroplane passera sur des plaines et des plateaux, où un pilote expérimenté saura toujours manœuvrer de façon à reprendre sans dommage le contact avec le sol, si tant est qu'il y soit forcé. On commencera, bien évidemment, par des voyages à faible hauteur, encore qu'il faille se méfier des altitudes trop faibles. Mais la panne pourra mettre les passagers en fâcheuse posture si elle se produit au dessus de grandes agglomérations, de pays de montagnes, et même simplement de forêts touffues, surtout tant que notre race n'aura pas reconquis l'adresse et la souplesse physiques qui faisaient l'orgueil de nos ancêtres. Ainsi, par

un juste retour, le nouveau navire aérien, fruit du labeur scientifique, pourrait bien nous décider à mieux soigner l'équilibre entre la culture du corps et celle de l'esprit : s'il doit en être ainsi, ce ne sera pas l'un de ses moindres bienfaits.

Il faut bien nous attendre, néanmoins, à payer de temps à autre la rançon de cette nouvelle et grandiose conquête. Cette rançon tragique, les hommes ne l'ont-ils pas maintes fois acquittée depuis qu'ils ont construit les premiers navires et se sont aventurés sur l'onde perfide, pour employer une locution familière aux anciens ; puis, plus près de nous, quand ils ont créé les chemins de fer, aux catastrophes assez rares, mais effroyables ; enfin et surtout quand ils se sont élancés, aux allures que vous savez, sur les automobiles, pour qui les journaux ont dû créer une rubrique nécrologique spéciale ? A-t-elle arrêté leur fièvre de progrès et de vitesse ? Nos grands-parents frémissaient de l'allure des premiers express, qui faisaient du 50, et qu'ils appelaient les trains fous ; aujourd'hui, pareille vitesse nous ferait frémir, non de crainte, mais d'impatience ! Heur ou malheur ? qu'importe, puisque le progrès est la loi inéluctable de la destinée humaine. Et si, dans notre course incessante vers ce progrès, que d'aucuns appellent la course à l'abîme, nous avions le loisir d'écouter la voix de la prudence, n'est-il pas vraisemblable qu'elle nous conseillerait bientôt de confier nos frêles existences à l'aéroplane, sur les routes ouatées de l'air libre, plutôt qu'aux automobiles, lancés sur des routes terrestres semées de tant d'obstacles ?

Avenir de l'Aviation.

Ma conclusion très nette est donc que l'aéroplane ne présente pas des dangers excessifs, et qu'en tout cas ces dangers seront impuissants à en arrêter l'essor. Cela étant, est-il déraisonnable de chercher ici à dire quelques mots de son avenir le plus immédiat ?

En ces derniers mois, depuis qu'il s'est imposé à l'attention de tous, avec le succès et la vigueur dont vous êtes témoins, l'aéroplane a été le thème de maintes chroniques, — voire même de quelques romans, — où l'imagination s'est donné libre cours. Vous n'attendez de moi rien de pareil : non pas qu'il faille trop faire fi de telles de ces fantaisies, fictions aujourd'hui qui seront

peut-être les réalités de demain ; mais, en vérité, il ne serait pas séant de laisser la folle du logis vaticiner devant un auditoire d'Ingénieurs.

Je ne vous parlerai donc ni de la suppression des frontières et de la fraternité universelle qu'espèrent les pacifistes de l'Aviation, ni, par contraste, des chevauchées d'escadrons d'aéroplanes et des corps à corps terrifiants qu'imaginent les rêveurs d'épopées. Encore ces derniers me paraissent-ils les moins éloignés de la vérité ; car, puisqu'il n'est pas douteux que les nouveaux engins trouveront dans l'art de la guerre une de leurs plus importantes applications, il est bien vraisemblable qu'un aéroplane, rencontrant un de ses congénères ennemis, moins rapide et moins bien armé, n'hésitera pas à l'attaquer et à le faire retomber sous le joug de cette loi de la pesanteur dont l'imprudent s'était momentanément affranchi.

Sans doute, tels ne sont pas, quant à présent, les noirs desseins des Ministres de la Guerre qui font suivre, avec tant de soin, les expériences d'aviation. Mais leur sollicitude est la preuve que les plus hautes compétences militaires voient dans l'aéroplane un auxiliaire d'un puissant intérêt ; aussi, cette année même, l'organe officiel du Ministère de la Guerre des États-Unis publiait-il les conditions d'adjudication d'aéroplanes pour l'armée. C'est que, dans les luttes futures, avec les énormes effectifs des armées modernes, un des plus grands soucis du général en chef sera de *savoir* et de *voir*, d'être renseigné sur les mouvements de l'ennemi, et même sur ceux de ses propres troupes, en s'assurant que ses ordres sont ponctuellement exécutés. A cet égard, le ballon sphérique a déjà rendu des services inappréciables. Le ballon dirigeable, qui a le grand avantage de pouvoir se déplacer au dessus de l'immense damier des opérations, restera longtemps l'observatoire idéal, sur le champ de bataille lui-même ; mais il ne lui sera bientôt plus loisible de s'aventurer utilement au dessus des territoires qu'occupe l'ennemi ; sa vitesse réduite et la fragilité de son enveloppe en feront une proie, sinon facile, du moins possible, pour les vautours que seront les aéroplanes dans les guerres de demain. Certes, il pourra leur échapper, grâce à sa puissance ascensionnelle incomparablement supérieure, puisqu'il franchit rapidement des centaines de mètres en altitude, tandis que les aéroplanes doivent monter suivant des pentes plus ou moins accentuées ; mais ces manœuvres en hauteur l'épuiseront assez vite, et pourraient l'amener alors à

atterrir en pays ennemi. Il serait excessif de dire : ceci tuera cela ; mais il n'est pas douteux que l'avènement de l'aéroplane va modifier le rôle militaire, encore à peine ébauché, de son frère aîné en navigation aérienne. C'est aux aéroplanes que reviendront les randonnées à grande distance et à d'énormes vitesses, les raids audacieux poussant jusqu'au cœur de l'ennemi, là où il prépare ses réserves, où il lève ses armées de soutien. Peu encombrants, toujours prêts à partir, débarrassés des impedimenta du dirigeable, ils seront des éclaireurs vigilants bien au delà des armées combattantes.

Ces qualités les rendront également précieux dans les guerres navales. Le pont d'un cuirassé portera facilement un aéroplane tout paré, et le mode de lancement des Wright pourra recevoir ici une heureuse application. L'appareil volant éclairera la marche ; il apercevra, jusqu'à des profondeurs de 15 m et plus, torpilleurs et sous-marins, ces terribles adversaires des grosses unités.

Sera-t-il l'engin de destruction que la fantaisie de romanciers militaires s'est plu à imaginer ? D'aucuns croient une escadrille d'aéroplanes capable de détruire des fortifications ou une flotte sous la chute d'explosifs. Assurément, des bombes lancées sur un fort ou sur le pont d'un navire jetteraient le désordre dans la garnison ou dans l'équipage, mais elles n'entameraient pas les œuvres vives ; il faut pour cela des vitesses considérables lors de la percussion, et par suite des vitesses initiales qui supposent une véritable artillerie, difficile à concevoir à bord d'un aéroplane. Sa soute à munitions ne peut d'ailleurs être bien importante, et, à sa grande vitesse de translation, le jet de simples bombes sera d'une efficacité problématique. Il aura donc surtout un rôle d'éclaireur à grande distance ; et s'il doit prendre une attitude offensive, ce sera dans la poursuite des dirigeables, encore que ces derniers soient beaucoup moins exposés aux dangers d'une chute rapide, et puissent au demeurant lui échapper facilement, s'ils sont toutefois près d'un pays ami.

Détournons nos regards de ces applications homicides, et disons quelques mots du rôle de l'aéroplane pendant les bienfaits de la paix. Certes, il ne fera aucune concurrence sérieuse aux modes de transport actuels, si ce n'est aux ballons dirigeables, véhicules du reste bien séduisants pour les excursions à allures demi-rapides. Mais il en aura raison à cause de sa bien plus

grande vitesse et de son moindre prix. Fait surtout pour les grandes distances, il cherchera d'instinct à franchir les mers. On pense déjà sérieusement à traverser la Manche, pour aller de Paris à Londres en deux ou trois heures, et l'on se préoccupe de doter l'aéroplane d'une flottabilité suffisante pour lui permettre d'attendre du secours en cas de chute accidentelle pendant le passage du détroit. Il est à craindre que cette flottabilité ne reste toujours bien précaire, et, pour de telles applications, l'idéal sera de rendre la panne improbable, sinon impossible.

Ainsi établi, l'aéroplane sera particulièrement apprécié pour les relations extra-rapides entre les grands centres, ou, dans des cas assez rares, pour le transport d'objets de grande valeur. Nul doute que de grandes lignes régulières à itinéraire fixe ne soient un jour fort goûtées par un certain public. Les privilégiés de la fortune que séduira la sensation de pareils voyages, les gens pressés qui ne regarderont pas à payer largement l'économie de temps seront assez nombreux pour alimenter ces lignes. La preuve de cette assertion, elle est dans le coût des voyages en automobiles, qui n'arrête pas les plus raisonnables. Au reste, il ne semble pas que les voyages en aéroplane doivent être d'un taux exorbitant, bien que leur capacité de chargement soit faible.

Quant à l'aéroplane de tourisme, le goût des jeunes générations pour les sports, la griserie de la vitesse, le prix auquel on pourra établir de petits appareils permettent de lui présager un grand succès. Sans prétendre qu'il devienne bientôt un mode de transport courant, il entrera suffisamment dans les mœurs, dès que la stabilité aura été obtenue d'une façon sûre et indépendante de l'habileté du pilote. Il suffira de quelques heureux voyages pour entraîner les moins téméraires, car rien n'est contagieux comme l'exemple.

Messieurs, les trente ou quarante personnes qui ont accompagné Wilbur Wright auraient été très surprises si on leur eût annoncé, au début de 1908, qu'elles prendraient place, cette année même, à bord d'une machine volante. Ne vous étonnez donc pas si je vous prédis que, d'ici un petit nombre d'années, quelques-uns d'entre vous monteront en aéroplane et seront enthousiasmés de leur voyage. C'est sur cette prédiction facile et sur ce vœu que je termine cette conférence.

Puis-je espérer avoir fait passer en vous un peu de la foi qui m'anime ? Du moins, je crois vous avoir démontré que l'aéroplane, tel que nous le connaissons aujourd'hui, est susceptible d'améliorations notables, dont la difficulté ne dépasse pas celle des problèmes que vous êtes habitués à résoudre chaque jour ; douter de leur réalisation, ce serait douter de vous-mêmes. Je suis donc bien certain que vous ferez du nouveau venu un merveilleux instrument de défense nationale, et aussi de plus grande civilisation, d'activité sociale plus intense. Déjà nous en apercevons les applications les plus immédiates ; elles seront l'œuvre de demain ; mais quelle sera, ou plutôt quelle ne sera pas l'œuvre des siècles à venir ! Dans cet auditoire, où j'ai la bonne fortune de compter tant d'hommes éminents qui ont si puissamment contribué à la prodigieuse éclosion scientifique de ces cinquante dernières années, je m'adresse aux plus anciens, à ceux qui ont connu le moteur léger à 100 kg par cheval, et qui le voient aujourd'hui à 2 kg, à ceux qui sont témoins du formidable développement des moyens de transport, et qui ont conservé le souvenir des paroles sceptiques de Thiers à l'endroit des voies ferrées : je demande à ces collègues, à ces hommes d'expérience, qui ont vu et fait de si grandes choses, de quel droit nous pourrions douter de l'avenir des machines volantes, à l'heure même où le génie humain vient de les créer ?

TABLE DES MATIÈRES



DEUXIÈME PARTIE.

Historique de l'Aéroplane.

TROISIÈME PARTIE.

Perfectionnements et avenir de l'Aéroplane.

Le Secrétaire Administratif, Gérant :

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 11778-7-08. — (Encre Lorilleux).



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'AOUT 1908

N° 8



James Watt (1756-1819).



John Smeaton (1724-1792).



Marc Seguin (1786-1875).



George Stephenson (1781-1848).

ÉVOLUTION PRATIQUE

DE LA

MACHINE A VAPEUR

CHAUDIÈRES — CONDENSATION PAR SURFACE — SURCHAUFFE ENVELOPPPES DE VAPEUR — ACTION DES PAROIS

PAR

M. A. MALLET

Suum cuique

INTRODUCTION

La machine à vapeur a réalisé, est-il besoin de le rappeler, la plus grande révolution dans l'ordre économique et social que le monde ait encore vue. Née au XVIIIe siècle, elle a fait sentir, dans le cours du XIXe, tous les effets de sa puissante intervention dans le domaine de l'industrie et des moyens de transport et, au début du siècle actuel, elle est encore en possession de sa pleine prédominance, répondant par de nouveaux progrès aux attaques dirigées contre elle par de jeunes concurrentes. Nous n'avons, pour notre part, jamais ajouté foi aux prédictions pessimistes émises, notamment par l'éminent Ingénieur anglais, mort récemment, notre Collègue Sir Frédéric Bramwell, lequel disait en 1881, devant l'Association Britannique, que dans cinquante ans on ne trouverait plus de machine à vapeur que dans les musées et collections, à titre d'objet de curiosité et de reliques des moteurs du passé.

L'histoire du développement progressif de la machine à vapeur présente un très grand intérêt. De la marmite de Papin et de la machine élévatoire de Savery, la première application pratique dont des échantillons déjà importants développaient

2 1/2 ch au plus, à la machine à triple expansion ou à la turbine à vapeur de 10000 ch, il y a eu bien des étapes et d'innombrables travailleurs ont accumulé leurs efforts pour opérer cette transition. Cette histoire est connue, au moins dans ses grandes lignes, sous le rapport théorique, c'est-à-dire en ce qui concerne les principes sur lesquels repose le fonctionnement du moteur à vapeur, et cela par les écrits d'auteurs éminents de divers pays; mais ce qui est moins connu, c'est l'évolution de la machine à vapeur au point de vue constructif, c'est-à-dire à celui de la disposition et des formes des diverses parties qui la constituent notamment, dans la période qui, partant de l'époque où la machine à vapeur pouvait être considérée comme ayant pleinement acquis son caractère industriel, aboutit au moment où le développement des publications techniques a fait connaître au fur et à mesure les progrès réalisés journellement dans la construction mécanique. Nous pouvons fixer approximativement cette période entre le commencement et le milieu du siècle dernier.

Dans l'intervalle de temps dont nous parlons, il y avait déjà en Angleterre quelques périodiques tels que le *Mechanic's Magazine* et des ouvrages comme ceux de Stuart, Galloway, Partington, Tredgold, etc., mais on ne trouve guère en France, comme guide dans le chaos de l'industrie naissante, en dehors de rares écrits et quelques revues très insuffisantes au point de vue technique et reproduisant principalement des articles de journaux anglais, que le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, recueil dont on ne saurait trop proclamer l'immense utilité pour des recherches du genre de celles dont il s'agit ici, puis la publication de Leblanc, si précieuse au point de vue des planches, mais dont le texte trop insuffisant se borne presque toujours à la légende des figures. Il est bien regrettable que l'auteur, dont la vie s'est passée au milieu des constructeurs et des mécaniciens, n'ait pas profité de ces relations pour doter son ouvrage de renseignements qui seraient d'une grande utilité sur les dates et la nature des applications, les résultats obtenus, etc. Mais Leblanc était surtout un dessinateur. Nous ne saurions omettre la publication industrielle d'Armengaud aîné, laquelle, bien que se rapportant à une période ultérieure, n'en contient pas moins sur celle qui nous occupe d'intéressants détails réunis par l'auteur au cours de sa longue carrière passée dans l'industrie.

Ajoutons enfin la publication officielle dite *Description des machines et procédés consignés dans les brevets, etc., publiés par ordre de*

M. le Ministre du Commerce, collection d'une incontestable utilité à laquelle on ne peut reprocher qu'une sélection trop arbitraire et quelques erreurs qui rendent parfois indispensable le recours à l'examen des brevets originaux au prix de difficultés et de pertes de temps. Cet ouvrage n'en rend pas moins de très grands services pour des recherches un peu étendues.

La mention que nous venons de faire des brevets nous oblige à nous arrêter un instant sur ce point et à dire quelques mots d'une question qui joue un rôle considérable dans une histoire de l'industrie, c'est ce qu'on a désigné sous l'heureuse expression de *baptême des inventions*, c'est une question des plus délicates.

On voit généralement cette question tranchée de la manière très simple qui consiste à considérer comme inventeur celui qui a réalisé l'invention, c'est-à-dire qui l'a mise en pratique le premier, et à ne tenir aucun compte de ceux qui ont eu la première idée ou ont fait précédemment des efforts inutiles pour la faire aboutir. Exemples pris au hasard : la locomotive a été inventée par Stephenson, la chaudière tubulaire est due à Marc Seguin, un point, c'est tout.

En réalité les choses se passent bien différemment. Sauf de très rares exceptions, en mécanique surtout, un progrès ne sort pas de l'esprit de l'inventeur, tout prêt à être mis en pratique, comme, dans la fable, Minerve jaillit toute armée du cerveau de Jupiter. Il passe par des étapes successives, quelquefois très longues ; proposé d'abord, puis quelquefois essayé avec plus ou moins de succès, il finit par réussir complètement entre les mains du dernier venu, plus pratique, plus persévérant ou simplement arrivé plus à propos, qui se voit attribuer tout le mérite de l'invention, car il ne faut pas l'oublier, quelle que soit la valeur d'un progrès, il n'a de chance de réussir que s'il arrive à son heure, c'est-à-dire si le besoin s'en fait sentir. Si Seguin eût créé la chaudière tubulaire avant les chemins de fer, il n'eût pas réussi à la faire adopter ; c'est ce qui est arrivé à ceux qui l'ont précédé dans cette voie.

Est-il juste et rationnel de rapporter tout le mérite d'une invention à celui qui a pour ainsi dire couronné l'édifice, sans tenir aucun compte des pionniers qui l'ont précédé et lui ont quelquefois ouvert le chemin? C'est un peu, pour prendre une comparaison dans le domaine de l'Ingénieur, comme si on attribuait tout l'honneur de l'édification d'un grand pont métallique au constructeur du tablier sans faire aucune mention de ceux



qui ont établi les fondations dans un terrain difficile, à une profondeur considérable, sous prétexte que ces parties qui ont demandé plus de peine et de temps que la superstructure ne se voient pas.

Arago, dans sa notice sur les machines à vapeur qui constitue un document de grande valeur pour l'histoire théorique de ce moteur, exprime une opinion contraire : « Dans les arts comme dans les sciences, le dernier venu est censé avoir eu connaissance de ses devanciers; toute déclaration négative à cet égard est sans valeur. » Cette manière de voir, juste en principe, peut être souvent d'une rigueur excessive. On doit, en tout cas, tenir compte de l'importance et de la valeur des antériorités. La seule solution conforme au bon sens et à la justice consisterait à citer tous ceux qui y ont droit et à présenter d'une manière impartiale toutes les pièces du procès, afin qu'il soit possible d'apprécier le rôle et le mérite de chacun. C'est ce qu'on fait bien rarement et les auteurs préfèrent, en général, trancher les questions selon leurs idées ou leurs sympathies en laissant dans l'ombre la plus complète les antériorités qui les gênent.

Si la publication d'une histoire du développement pratique de la machine à vapeur serait éminemment désirable, il ne faut pas se dissimuler qu'un travail de ce genre est à peu près irréalisable actuellement. Il ne suffirait pas, en effet, de classer d'une manière méthodique les documents épars de divers côtés, il faudrait les compléter par des renseignements qui ne sont plus disponibles aujourd'hui : en effet, les hommes qui ont contribué aux progrès dont nous parlons sont morts, les ateliers où ils ont été réalisés sont fermés depuis longtemps, leurs archives ont été dispersées alors qu'elles eussent dû être pieusement recueillies au Conservatoire qui a été créé dans ce but, comme son nom l'indique. Il n'en est pas de même en Angleterre : il nous suffira de rappeler que, lors de la fermeture, qui remonte à quelques années, de l'usine de Soho, berceau de la machine à vapeur, tout ce qui paraissait digne d'intérêt a été recueilli par M. Tangye, acquéreur des immeubles. Le musée de Kensington donne asile, non seulement aux dessins des vieilles machines, mais encore à certaines vieilles machines elles-mêmes.

Une œuvre qui eût été relativement facile à réaliser il y a cinquante ans, est devenue impossible aujourd'hui. Nous ne savons vraiment si on doit beaucoup le regretter, car, si un tel ouvrage existait, il n'est pas certain qu'il trouverait des lecteurs.

On rencontre, en effet, trop généralement en France, une très grande indifférence parmi les gens du métier pour les questions du genre de celles dont nous parlons ; ce sont des vieilleries dont personne ne s'occupe, vous dit-on.

L'archéologie est en honneur dans toutes les branches, sauf en ce qui concerne les arts et procédés de fabrication ; nous sommes plus au courant des détails des civilisations égyptienne et babylonienne que des origines de nos industries; il existe des chaires pour toutes les histoires sauf pour celles des applications techniques des sciences. Dans les cours où on enseigne ces applications, quand le professeur, au début de la première leçon, consacre quelques minutes à la question historique qu'il traite naturellement de la manière la plus banale, il croit avoir fait très largement les choses. Nous avons rencontré récemment un Ingénieur, ou soi-disant tel, qui nous a affirmé n'avoir jamais entendu parler d'un constructeur du nom de Cavé. Il semble donc que, d'une part, la difficulté de la tâche, de l'autre, le peu d'encouragement qui lui serait donné de la part du public intéressé, laissent peu de chances de voir jamais paraître un ouvrage du genre de celui dont nous avons indiqué la nature.

Des recherches dans le domaine des moteurs à vapeur, recherches ayant demandé plusieurs années de travail, poursuivies dans un but spécial et excitées par un goût naturel pour ce genre d'études, en nous faisant mettre la main sur des faits d'un très grand intérêt et ignorés ou à peu près, nous ont permis de constater combien sont peu connus l'origine et le développement de certains progrès et combien la légende joue un grand rôle dans ces questions.

Il nous a paru utile de faire connaître ces faits et nous avons pensé que, dans ce but, il pouvait y avoir place pour un travail infiniment plus modeste que celui dont il a été question plus haut. Nous avons donc entrepris cette étude rétrospective sur les origines et le développement successif de quelques parties constitutives de la machine à vapeur, étude dans laquelle nous avons cherché à éclaircir certains points obscurs, à substituer la vérité à la légende sur diverses questions et aussi, sans attaquer en rien les titres justement acquis, à mettre en lumière des rôles restés dans l'ombre et à tirer de l'oubli des noms qui méritent d'être connus, c'est-à-dire à justifier, dans la mesure du possible, l'épigraphe inscrite en tête de cet opuscule : *Suum cuique*.

Les parties que nous traitons ici sont : 1° *les chaudières*, qui

constituent la base du moteur, puisqu'elles lui fournissent l'élément vital ; 2° *le condenseur à surface*, le plus important progrès apporté à la navigation à vapeur au cours du XIXe siècle, progrès qui seul a permis d'en utiliser d'autres, la haute pression et l'expansion multiple ; 3° *la surchauffe*, au sujet de laquelle nous donnons des renseignements à peu près inédits ; 4° *les enveloppes de vapeur* ; et 5° *l'action des parois*.

Peut-être ne nous serions-nous pas encore décidé à livrer ces notes à la publicité si nous n'y avions été encouragé par l'accueil si bienveillant que nous ont fait MM. le Président et les membres du Bureau et de la troisième Section du Comité de la Société des Ingénieurs Civils de France. Ces messieurs, jugeant qu'un mémoire où les noms de tant de nos collègues disparus figurent avec honneur, arrivait opportunément au moment du soixantenaire de la Société, ont bien voulu nous ouvrir avec la plus grande libéralité les colonnes du Bulletin. Nous leur exprimons ici notre plus sincère reconnaissance.

Paris, mai 1908.

PREMIÈRE PARTIE

CHAUDIÈRES

Chapitre I.

Les appareils dans lesquels on obtient, en brûlant du combustible dans un foyer, la vapeur destinée le plus souvent à la production de la force motrice, les chaudières, sont susceptibles de dispositions très diverses déterminées par des conditions de différents genres. Si nous étudions le développement de ces appareils au point de vue chronologique, nous trouvons que ces conditions ont été, à l'origine, la nature des applications et, autant pour le moins, l'avancement de l'industrie mécanique à l'époque.

Nous n'entrerons pas dans de longs développements à ce sujet; il nous suffira de faire remarquer que, pour fournir de la vapeur à des machines d'épuisement de mines, la première application qui ait été faite de ce moteur, il n'était nullement besoin d'avoir des appareils légers, tenant peu de place et rapides à mettre en pression comme il convient pour certains usages modernes. D'autre part, à une époque où les matériaux propres à la construction des générateurs étaient rares et de faibles dimensions, on était obligé de recourir à des formes spéciales que le développement des procédés de fabrication a plus ou moins rapidement transformées. C'est ainsi que, dans les Cornouailles, où on n'avait pas de tôles pour faire des chaudières et où l'absence de routes ne permettait pas d'amener des générateurs en fonte, nécessairement pesants, on fut conduit, dans les premiers temps de l'application de la vapeur à l'épuisement des mines, à penser, pour les chaudières, à l'emploi de matériaux singuliers, le bois, par exemple et la pierre.

L'observation que nous venons de faire sur les ressources dont on disposait pour la confection des générateurs s'applique également aux machines à vapeur proprement dites. Les constructeurs étaient extrêmement limités par la nature et les échan-

tillons des matériaux et par les moyens d'exécution. A quoi leur eût servi d'imaginer des combinaisons mécaniques dont les ressources de réalisation leur eussent fait défaut ? On a conservé des lettres de Watt dans lesquelles celui-ci se plaint, à diverses reprises, de la maladresse des ouvriers et de la grossièreté du travail qui va jusqu'à empêcher ses machines de fonctionner. On a souvent avancé que, si Napoléon eût accueilli les offres de Fulton, il eût pu enlever des mains des Anglais l'empire des mers. Un peu de réflexion fait justice d'une telle supposition. Avec des bateaux de l'échantillon des premiers qui réussirent pratiquement, il en eût fallu au moins une centaine, même en les employant à remorquer des navires de transport, pour faire passer la Manche à une armée de 100 000 hommes avec armes, bagages, munitions, artillerie, etc. En l'état de l'industrie française à l'époque, il eût fallu plusieurs années pour construire ce matériel, si, encore, cela eut été possible, car on se rappelle que, pour assurer le succès du *Clermont*, Fulton dut se procurer la machine motrice en Angleterre. La *Comète*, le premier bateau à vapeur européen qui ait pratiquement réussi, fut construit en 1812, et en 1817, il n'y avait encore qu'une quarantaine de bateaux à vapeur dans ce pays. Cette lenteur relative du développement de la nouvelle industrie s'explique autant par l'état peu avancé de la construction que par la nécessité de procéder par étapes et de perfectionner à mesure les modèles du début, chaque nouveau bateau réalisant un progrès sur le précédent et c'est ainsi qu'on est arrivé par une sage lenteur à la réussite définitive que pouvait compromettre une précipitation excessive. Le succès du *Clermont* n'a été obtenu, d'ailleurs, qu'après d'assez longs tâtonnements et des modifications successives de la coque et des roues. Ce premier bateau date de 1807 et, en 1811, il n'y avait encore que quatre bateaux à vapeur aux États-Unis. Il serait injuste d'apprécier les débuts de la machine à vapeur sans tenir compte des ressources très bornées mises à la disposition des constructeurs ; ceux-ci ont eu un immense mérite à produire, avec de si faibles moyens, les résultats qu'ils ont obtenus.

Une chaudière à vapeur peut être définie un vase clos contenant de l'eau et dont les surfaces sont en contact avec la flamme et les gaz d'un foyer, les parois de ce vase étant susceptibles de résister à une pression intérieure plus ou moins considérable, du moins dans le cas le plus général. On est donc amené à la considérer à un double point de vue.

Au premier, nous diviserons les chaudières en chaudières sans tubes et chaudières avec tubes, les tubes étant des cylindres de petit diamètre et de longueur relativement grande. Il est inutile de fixer ici des chiffres et tout le monde appréciera la différence qu'il y a entre un tube et un bouilleur ou un réservoir. Au second point de vue, on devrait diviser les chaudières en trois groupes : les chaudières chauffées entièrement à l'extérieur, les chaudières chauffées entièrement à l'intérieur et les chaudières chauffées en partie à l'extérieur et en partie à l'intérieur. Cette division, en principe rationnelle, est difficile à observer en pratique, car, dans certains cas, un générateur pourrait passer d'une classe à l'autre suivant la manière dont serait disposé le foyer en maçonnerie qui ne fait pas partie de la chaudière et sans que la forme de celle-ci fût en rien modifiée. Nous croyons préférable de n'établir que deux divisions : les chaudières chauffées entièrement à l'extérieur et les chaudières chauffées en tout ou en partie par l'intérieur. Combinant cette classification avec celle qui repose sur la disposition de la capacité contenant l'eau, nous arriverons à étudier successivement :

1° Les chaudières non tubulaires à chauffage entièrement extérieur;

2° Les chaudières non tubulaires à chauffage en tout ou partie intérieur;

3° Les chaudières à tubes à fumée (1);

4° Les chaudières à tubes d'eau;

5° Les chaudières à vaporisation instantanée.

Il nous a paru bon d'introduire cette dernière catégorie dont l'origine remonte au commencement du siècle dernier et qu'on a vue recevoir, dans ces derniers temps, d'intéressantes applications et qui, d'ailleurs, se distingue essentiellement des autres. Enfin nous avons cru devoir étudier à part les chaudières marines qui, par leur importance, méritent de former une classe spéciale.

(1) Il nous semble que les expressions de chaudières à tubes à fumée et à tubes d'eau sont aussi faciles à comprendre que celles de chaudières ignitubulaires et aquatubulaires; il est donc superflu de recourir aux langues mortes pour constituer des mots techniques de la mécanique moderne.

CHAPITRE II.

Chaudières non tubulaires à chauffage entièrement extérieur.

Les chaudières à chauffage extérieur furent les premières employées, et cela se comprend, car il n'y avait en général aucune raison de se servir d'autres; c'étaient tout simplement les chaudières employées dans diverses industries, au premier rang desquelles la distillerie; c'est pour cela que la chaudière est souvent, dans les premiers temps, désignée sous le nom d'*olambic*.

Les chaudières des machines de Savery, les premières qui aient donné un résultat industriel, étaient, dit-on, en cuivre; la pression y atteignait au plus 2 atm, ce qui, si on ajoute la hauteur d'aspiration, limitait la hauteur totale d'élévation de l'eau à 28 m environ. Ces chaudières, de forme sphérique ou cylindrique à axe vertical, n'avaient pas de soupape de sûreté, mais elles avaient deux tubes descendant verticalement dans l'intérieur à des profondeurs différentes, pour permettre d'apprécier le niveau de l'eau. Elles étaient placées au-dessus de la grille dans un foyer et la flamme les entourait complètement.

Desaguliers introduisit dans ces chaudières divers perfectionnements : il leur adapta la soupape de sûreté à levier de Papin, fit circuler la flamme dans un carneau en spirale autour de la chaudière pour allonger le parcours des gaz (*fig. 1*) et augmenta la dimension des appareils. Savery avait installé à Kensington une machine dont la chaudière avait une capacité de 160 l; elle élevait 12 m³ d'eau à une hauteur de 17,50 m par jour. Si on rapporte ce travail à une durée de dix heures, le travail effectué correspond seulement à la valeur très minime de 80 centièmes de cheval. Desaguliers construisit pour la Russie un appareil élévatoire dont la chau-

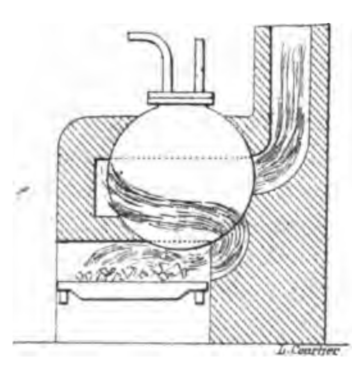


FIG 1. — Chaudière de Desaguliers (1720).

dière avait une capacité de 1 800 à 2 000 l; ces dimensions étaient permises par la faible élévation de l'eau, seulement 3,50 m de refoulement en plus de la hauteur d'aspiration, la pression de la vapeur ne dépassant pas dès lors un tiers environ d'atmosphère.

Il n'est pas sans intérêt de dire ici que la machine de Savery, construite pour l'épuisement des mines, fut quelquefois appliquée, après la mort de l'inventeur il est vrai, à la production de la force motrice par l'envoi sur une roue hydraulique de l'eau élevée dans un réservoir, mode d'emploi déjà proposé par Papin; ce système entraînait nécessairement des pertes considérables, mais était néanmoins acceptable dans certains cas, faute de mieux.

Si nous insistons sur ce fait, c'est parce qu'il nous fournit le premier exemple d'une distribution automatique empruntant l'origine du mouvement à un arbre tournant. La machine de Savery fonctionnait, paraît-il, assez vite; on parle de quinze coups par minute, ce qui faisait en moyenne deux secondes pour le refoulement et autant pour la condensation et l'aspiration de l'eau par le vide produit. La manœuvre des robinets par le surveillant n'était donc pas une sinécure, il ne pouvait guère chauffer la chaudière et l'alimenter; il fallait donc deux hommes pour le service de machines d'infime puissance.

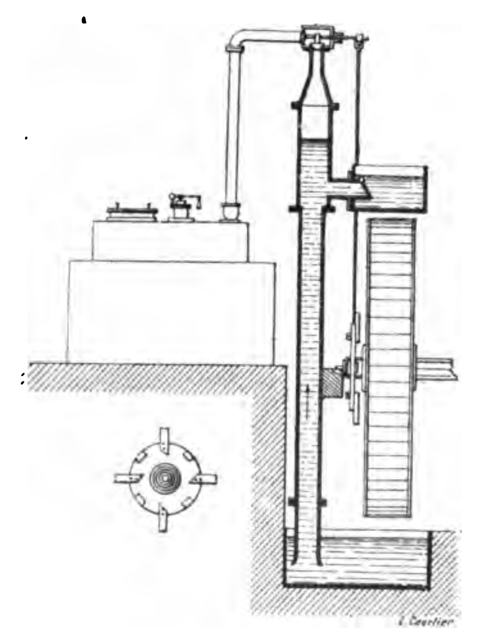


Fig. 2. — Distributeur automatique pour machine de Savery actionnant une roue hydraulique (1735).

Des modifications de la machine de Savery par Gensanne et par de Mora comportaient déjà des manœuvres automatiques, mais celles-ci n'étaient pas empruntées à un arbre tournant. Ce système est indiqué par le *Journal de Nicholson* comme existant

sur des machines établies par un certain Josué Rigley, de Manchester, et assez employées dans le Lancashire pour fournir la force motrice à des manufactures de coton. Un de ces appareils fut installé à Londres, dans la fabrique d'un M. Kier, pour actionner des tours, etc. L'arbre de la roue hydraulique (*fig.* 2) portait un tourteau muni de cames qui agissaient sur un levier pour ouvrir et fermer la soupape amenant la vapeur au réservoir et en même temps, dans le second cas, lancer un jet d'eau froide dans ce même réservoir pour condenser la vapeur et faire le vide. Au départ, ces manœuvrès se faisaient à la main. On trouve une illustration de cette disposition dans le *Treatise of the Steam Engine* de J. Scott Russel.

On peut, à ce sujet, rappeler que plus tard, en 1774, Smeaton émettait, ce qui scandalisait fort Watt, l'avis que les machines à feu à mouvement alternatif ne donneraient jamais assez de régularité de rotation pour actionner les meules des moulins à blé et que la meilleure solution était d'employer la machine à vapeur à simple effet à élever de l'eau pour faire tourner une roue hydraulique par l'entremise d'un réservoir régulateur.

Il paraît qu'à la fin du XVIII[e] siècle on se servait, dans beaucoup de mines, pour l'extraction de la houille, de treuils mus par des roues hydrauliques auxquelles l'eau était fournie par des pompes à feu. Un Ingénieur distingué, John Curr, directeur des houillères du Duc de Norfolk, et inventeur, dit-on, du câble plat, estimait, en écrivant en 1797, à 30 à 40 le nombre de ces appareils existant alors dans le nord de l'Angleterre.

Smeaton fit en 1774 des expériences pour rechercher l'effet utile (*duty*) des machines de Savery. Une de ces machines, élevant l'eau à 4,27 m de hauteur, donnait douze coups par minute en débitant dans le même temps 2 800 l, ce qui représente un travail en eau montée de 2,67 ch. La dépense de combustible était de 150 kg de charbon en quatre heures, soit 14 kg de charbon par cheval et par heure. Une autre machine de dimensions un peu plus faibles fut trouvée dépenser 13,3 kg par cheval-heure.

Il est intéressant de rapprocher ces chiffres de ceux observés en 1833 par Colladon sur une machine du même genre construite par Manoury d'Ectot pour l'abattoir de Grenelle, chiffres publiés dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de 1835; la consommation de cette dernière ressortait à 16,25 kg de char-

bon par cheval-heure, valeurs presque identiques aux précédentes.

En 1818, Pontifex présenta une forme perfectionnée de la machine de Savery comportant deux corps et une distribution automatique très analogue en somme au pulsomètre moderne. Une de ces machines, installée à l'usine à gaz de la Cité, à Londres, élevait, d'après Partington, 3 240 l d'eau à l'heure, à 8,54 m de hauteur, ce qui représente 0,92 ch en dépensant 14,5 kg de charbon à l'heure : c'est donc 15,70 kg par cheval-heure.

Disons ici que des expériences faites il y a quelques années à Londres, dans les ateliers de la *Pulsometer Engineering C°*, ont donné, pour des pulsomètres perfectionnés, une dépense de 66 kg de vapeur par cheval-heure, ce qui correspondrait, selon la vaporisation, à une dépense de combustible de 8 à 11 kg. Il est vrai que Borodine, dans ses expériences sur les machines d'alimentation d'eau des gares, a trouvé pour des pulsomètres, probablement installés dans des conditions très défavorables, des dépenses de vapeur allant jusqu'à 390 kg de vapeur par cheval-heure, ce qui donnerait des consommations de combustible au moins quadruples de celles qui ont été indiquées plus haut.

En somme, si on admet une dépense de charbon de 15 kg par cheval-heure en eau montée, avec de la houille à 15 f par tonne, le coût sera de 0,22 f et, avec un rendement de 60 0/0 pour la roue hydraulique, de 0,37 f. Le travail d'une dizaine d'hommes employés à tourner une roue aurait coûté évidemment beaucoup plus, même avec des prix très bas de main-d'œuvre. Ces dispositifs avaient donc leur raison d'être.

Les chaudières des machines de Savery ou de ses imitateurs avaient quelquefois la forme d'un cylindre vertical; on fut amené à faire le fond concave pour lui donner plus de résistance à la pression intérieure. C'est cette résistance qui constituait la pierre d'achoppement de cette machine.

Disons, avant de quitter le sujet des machines de Savery, que l'alimentation des chaudières de ces appareils s'opérait par le moyen d'une chaudière auxiliaire chauffée séparément et dont, à la faveur d'un excès de pression de la vapeur, on faisait passer l'eau dans la chaudière principale. On a employé plus tard une disposition analogue à notre bouteille alimentaire.

C'est avec l'emploi des machines de Newcomen que la chaudière commença à recevoir des perfectionnements importants. En effet, bien que, dans les appareils de Savery, la tension ne

s'élevât guère au-dessus de 2 atm effectives, cette tension suffisait pour empêcher de dépasser des dimensions très restreintes, Savery parle de 2 à 2 pieds et demi de diamètre, soit 0,60 à 0,75 m; si on dépassait ces dimensions, ce n'était que pour des machines, qui, agissant surtout par aspiration, n'avaient besoin que d'une faible pression.

Le grand mérite de la machine de Newcomen fut de rendre la hauteur d'élévation indépendante de la pression, et, par conséquent, cette dernière constante. Une valeur très faible de cette pression étant suffisante, la dimension des chaudières n'était plus limitée de ce fait. Les machines de Savery avaient un faible débit et une assez faible hauteur d'élévation, il aurait fallu en superposer plusieurs pour atteindre les différences de niveau qui se rencontrent dans les mines; on conçoit donc qu'une seule machine de Newcomen suffisait pour remplacer une douzaine d'appareils de Savery.

Les chaudières prirent rapidement une importance considérable et leurs formes durent se modifier. Le générateur de la machine de Fresnes, cité par Belidor qui lui donne le nom d'*alambic*, avait 3 m de diamètre sur 2 de profondeur; il était en feuilles de tôle assemblées par des rivets et contenait 6300 l d'eau; la surface de chauffe était de 17 m² environ, dont 5,5 forment le fond et 9,5 le pourtour. Certaines de ces chaudières étaient en fonte, car, au milieu du XVIII[e] siècle, l'art de la fonderie était déjà assez avancé et fournissait des produits très suffisants pour des pressions à peu près nulles. Lorsqu'on voulut plus tard employer la fonte pour des pressions un peu fortes, on éprouva de sérieux déboires dus principalement à la difficulté de bien centrer les noyaux pour avoir une épaisseur régulière. Dans l'enquête faite à la suite de l'explosion, survenue à Londres en 1816, d'une chaudière à cuire le sucre, on constata que l'épaisseur de la chaudière variait de 3 à 50 mm par suite du déplacement du noyau; or cette chaudière fonctionnait à des pressions de 2,5 à 3 kg et les ouvriers, trouvant que le travail ne marchait pas assez vite, avaient surchargé la soupape de sûreté pour faire monter la pression à 4 kg.

On trouvera, sur la fabrication des chaudières en tôle de fer ou cuivre assemblées par rivets des détails intéressants, à l'article chaudronnerie, dans l'*Encyclopédie* de 1765; le découpage des tôles, leur perçage et la pose des rivets se faisaient, bien entendu, à la main et d'une manière très primitive.

Les chaudières de Newcomen avaient le fond posé sur le rebord de la maçonnerie du fourneau; cette maçonnerie présentait sur le pourtour un retrait formant carneau; sur la chaudière était un chapiteau en cuivre recouvert de maçonnerie pour lui donner le poids nécessaire pour empêcher son soulèvement par la pression intérieure (*fig. 3*). Ce chapiteau était quelquefois en plomb; une couronne en cuivre garnie de plomb terminait le chapiteau; on l'enlevait pour visiter l'intérieur de la chaudière.

Comme appareils de sûreté, on rencontrait quelquefois une soupape de sûreté pouvant être soulevée par une corde pour vider la chaudière, deux tubes à robinet pour reconnaître la hauteur du niveau d'eau et un tube alimentaire descendant au niveau d'eau minimum; si l'eau s'abaissait plus bas, la vapeur s'échappait par le tube avec un bruit suffisant pour appeler l'attention du chauffeur, fût-il endormi.

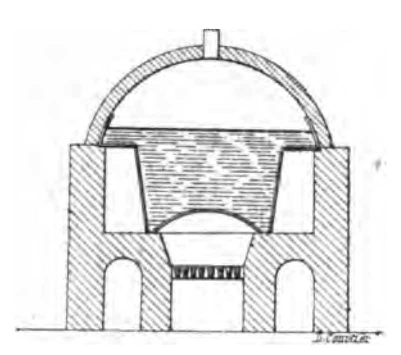


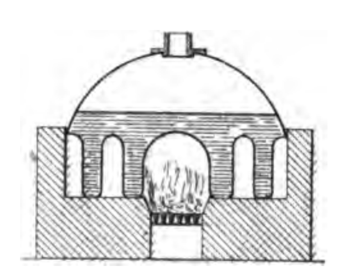
Fig. 3. — Chaudière de Newcomen (1725).

Un ouvrage fort curieux intitulé : *Description d'une machine à feu construite pour les salines de Castiglione*, écrit en français et publié à Parme en 1766, contient, entre autres détails, le dessin de la chaudière de cette machine, chaudière formée de plaques de cuivre assemblées par des rivets distants d'un pouce et demi. Elle avait 2,60 m de diamètre au fond, 3 m à la partie supérieure et 3,60 m au rebord où se faisait l'assemblage du chapiteau. Le fond était formé d'une feuille circulaire de cuivre de 1 m de diamètre et le reste du fond et les côtés de feuilles de même métal de 0,50 à 0,65 m clouées ensemble par des rivets de 12 mm de diamètre. L'auteur rapporte qu'il avait d'abord fait souder les joints à l'intérieur et que, la soudure ayant fondu au feu, l'étanchéité était néanmoins restée parfaite, tant l'assemblage des feuilles était bien fait.

Le dôme, également en feuilles de cuivre, était assemblé par rivets à la cuve et présentait une ouverture de 0,65 m de diamètre fermée par un couvercle en cuivre fixé par des vis avec interposition de tresses en chanvre pour faire joint étanche.

Cette chaudière présentait une particularité, c'est que le tuyau d'alimentation se terminait par une partie recourbée vers le

haut pour que l'eau introduite par là s'échauffât avant de pénétrer dans la vapeur qu'autrement elle eût risqué de condenser localement. On voit figurés deux tubes de jauge à robinet pour indiquer le niveau d'eau. Il est intéressant d'indiquer que cette chaudière fournissait la vapeur à une machine établie sur le principe de Savery, disposition conservée parce que la hauteur d'élévation était très faible et atteinte seulement par l'aspiration. La marche était automatique, la manœuvre des soupapes s'opérant par des cames, portées par l'arbre d'une petite roue hydraulique mue par l'eau élevée.



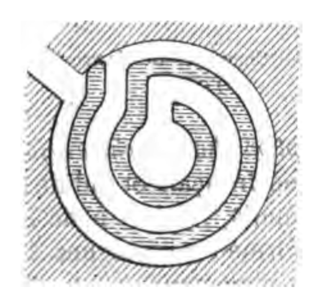


Fig. 4. — Chaudière à carneau en spirale (1750).

On fit aussi, vers 1750, des chaudières avec des carneaux en spirale pratiqués dans le fond même de la chaudière, comme l'indique la figure 4 ; on pourrait presque classer ces appareils dans la catégorie de ceux avec chauffage partiel par l'intérieur.

Comme ces formes, et surtout la première, ne permettaient pas d'augmenter considérablement la capacité et la surface de chauffe, on fut obligé d'augmenter le nombre des chaudières, qui fut quelquefois porté jusqu'à trois, par exemple dans la machine de Newcomen de Long Benton près Newcastle, construite par Smeaton en 1772. Les chaudières étaient à côté de la machine et non plus en dessous, ce qui avait l'inconvénient de placer celle-ci à une grande hauteur.

La machine de Chasewater (*fig.* 5), énorme pour l'époque, avait un cylindre de 1,83 m de diamètre et 2,75 m de course; il pesait 6 600 kg, la machine donnait 9 coups de piston par minute et développait environ 75 ch, travail bien faible pour un appareil de semblable dimension. Un cylindre de cet échantillon dans une machine marine à basse pression, aurait donné 450 à 500 ch, avec 15 tours et le double effet du piston.

Le balancier de cette machine était une pièce extraordinaire : il avait 8,30 m de longueur sur 1,85 m de hauteur au milieu et 0,60 de largeur; il était composé de 20 pièces de sapin séparées

par des cales en chêne engagées dans des rainures et réunies par 32 boulons de 25 mm de diamètre. Cette disposition permettait de donner, grâce à l'épaisseur variée des cales, une forme légèrement parabolique au balancier.

L'axe était une pièce en fer ayant, dans la partie médiane encastrée dans la charpente en bois, une section rectangulaire de

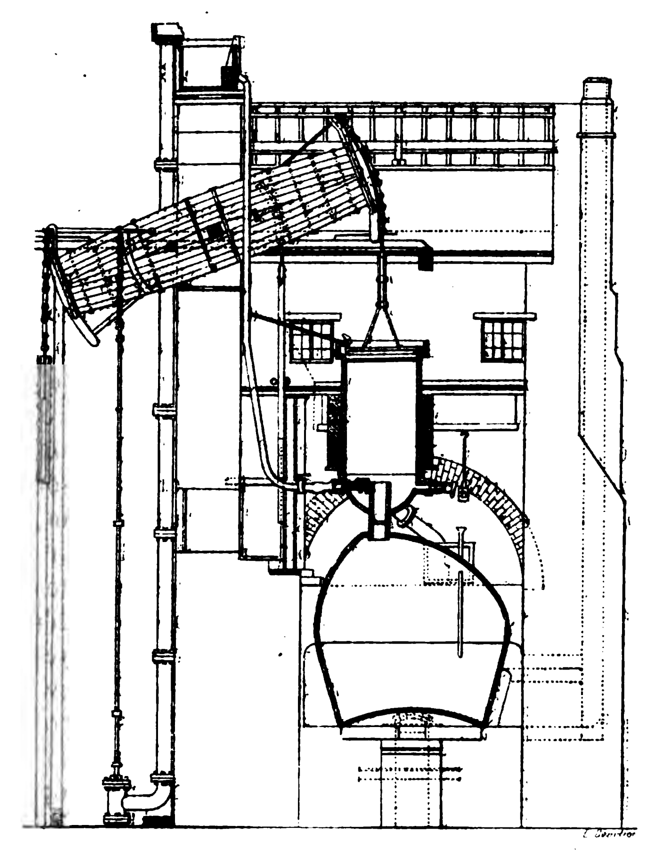


FIG. 5. — Machine de Newcomen à Chasewater par Smeaton (1772).

750 × 215 mm et, aux deux extrémités servant de tourillon, une section circulaire de 215; ces tourillons portaient sur des coussinets en bronze.

Disons en passant que des balanciers de ce genre étaient très coûteux et d'une durée assez limitée; aussi ne tarda-t-on pas à penser à remplacer le bois par la fonte.

L'*Engineer*, du 30 janvier 1880, dit qu'en 1776 on installa un balancier en fonte sur la machine atmosphérique de Handley

Wood ; le piston, de 1,22 m de diamètre, était relié au balancier par une chaîne. L'emploi des balanciers métalliques ne se répandit pas très vite, car Watt fit longtemps les balanciers de ses machines à simple effet en bois avec tirants en fer et ses machines à double effet des moulins d'Albion, construites en 1785, avaient des balanciers en bois formés d'une simple poutre droite à section rectangulaire et uniforme.

La machine de Chasewater actionnait des pompes de 0,415 m de diamètre disposées en trois étages distants de 30,50 m. Ces chaudières vaporisaient, d'après Smeaton, 7,9 kg d'eau par kilogramme de charbon. Un des générateurs, installés à Long Benton, avait 3,25 m² de surface de grille et 42,7 de surface de chauffe, dont 13,20 sous la chaudière et 29,5 dans les carneaux, soit un rapport de 13,1 entre la surface de chauffe et la surface de grille. La machine est donnée pour 40 ch, son *duty* était de 9,5 millions de pieds-livres par boisseau de 84 l de charbon, ce qui correspond à 8 kg de combustible par cheval en eau montée ou 7,9 × 8 = 63,2 kg de vapeur. On en conclut que chaque mètre carré de surface de chauffe vaporisait 60 kg d'eau par heure et que chaque mètre carré de grille brûlait 100 kg de charbon dans le même temps. Ces chiffres donnés par Thurston dans son *History of the Growth of the Steam Engine*, page 69, paraissent bien élevés ; ils prouveraient, s'ils sont exacts, que les chaudières de cette époque, à part l'encombrement, n'auraient eu rien à envier aux nôtres.

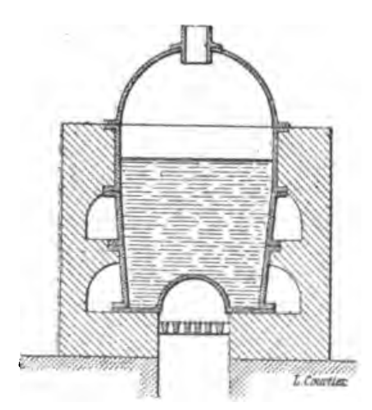


Fig. 6. — Chaudière verticale de Smeaton (1770).

La chaudière de Chasewater est représentée dans les ouvrages anglais comme de forme tronconique à fond concave et en fonte ; en supposant le dessin établi à l'échelle et en prenant pour point de départ le balancier dont la longueur nous est connue, nous trouverions que cette chaudière devait avoir 5 m de diamètre au maximum et autant de hauteur.

Bourne, dans son *Treatise of the Steam Engine*, 1846, dit que la forme favorite adoptée par Smeaton pour ses chaudières était celle dite *Haystack*, ce que nous pouvons traduire par meule de foin. Ces générateurs étaient en fonte et formés de quatre parties

réunies par des joints à brides extérieures boulonnées *(fig. 6)*.

Trois chaudières semblables de 3,05 m de diamètre et 4,98 m de hauteur alimentaient de vapeur une machine d'épuisement faite par Smeaton pour un bassin de radoub à Cronstadt.

Ces dimensions étaient encore dépassées; ainsi on cite une chaudière, encore en service il n'y a pas longtemps, qui avait 7,20 m de diamètre et autant de hauteur. La grille était placée à 2,50 m à 3 m plus bas que le fond de la chaudière et on mettait sur cette grille jusqu'à 30 t de charbon. L'*Engineer*, qui cite ce fait, dit avec raison que, dans ces conditions, on ne devait pas espérer un rendement bien élevé du combustible et du générateur.

Boulton et Watt paraissent avoir employé ce genre de chaudières; ils les faisaient souvent en tôles de cuivre de 8 mm d'épaisseur, assemblées par des rivets également en cuivre de 25 mm de diamètre distants d'axe en axe de 93 mm, avec des têtes rabattues de 75 mm de diamètre (*Engineer*, 27 juillet 1888).

Nous ne saurions omettre de signaler ici la chaudière de la voiture à vapeur de Cugnot (1769), bien que cette chaudière n'ait jamais fait de service réel; mais elle présente de l'intérêt, surtout par un certain côté mystérieux.

Nous avons trouvé, il y a quelques années, dans les *Proceedings*

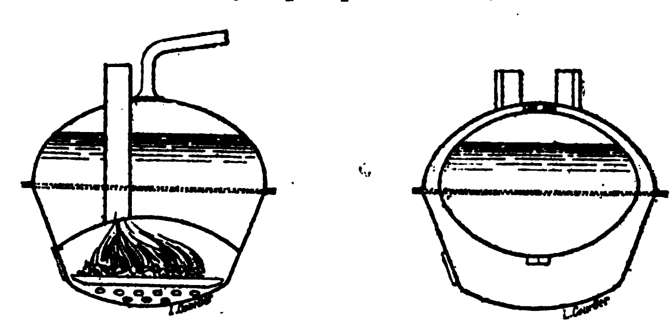


Fig. 7. — Forme supposée. Fig. 8. — Forme réelle.

Chaudière de la voiture de Cugnot (1770).

de l'*Institution of Mechanical Engineers* année 1853, une note d'un Ingénieur bien connu, Edward A. Cowper, mort en 1894, sur la voiture de Cugnot; cette note est accompagnée de plusieurs planches, dont l'une donne la coupe de la chaudière; nous la reproduisons ici dans la figure 7.

On voit que le feu brûle sur une grille à laquelle l'air arrive

par des trous pratiqués dans le bas du cendrier; le fond concave de la chaudière est exposé à l'action directe du feu et les gaz de la combustion s'échappent par deux cheminées verticales traversant la masse d'eau et formant carneaux intérieurs. L'auteur dit que les figures de sa note ont été exécutées d'après des dessins mis à sa disposition par M. Armengaud, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, et que lui-même a soigneusement examiné la machine dans cet établissement où elle se trouve conservée.

Disons tout de suite que la même disposition est indiquée pour cette chaudière dans l'ouvrage de Colburn, *Locomotive Engineering*, paru en 1864, dans le cours lithographie du cours de machines à vapeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées pour 1873-74 par Gérardin et dans divers ouvrages.

Nous trouvant une fois près de la machine de Cugnot avec notre collègue, M. Gustave Tresca, Conservateur des collections, nous eûmes l'idée de monter sur le tablier et de passer un parapluie dans une des cheminées; le bout de l'instrument a immédiatement porté sur le haut de la chaudière, indiquant que les cheminées ne traversaient par celle-ci. L'examen des dessins conservés au Portefeuille du Conservatoire nous a, en effet, montré que la chaudière avait en réalité la disposition de la figure 8, c'est-à-dire était chauffée entièrement à l'extérieur et que la forme indiquée par E. A. Cowper était absolument de fantaisie; l'auteur, dans son examen, aurait pu se rendre compte de ce fait par la manœuvre si simple que nous avons opérée, et aussi par la lecture de la description qui a été faite par Morin dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1851, t. XXXII, description dans laquelle la véritable disposition de la chaudière de Cugnot est parfaitement indiquée. Nous citons cet exemple pour faire voir combien il faut être prudent dans des recherches de ce genre et comment on peut être induit en erreur en s'en rapportant à des documents imprimés, même émanant d'écrivains autorisés, et contenus dans des publications des plus sérieuses.

Pendant que nous sommes sur le chapitre de la machine de Cugnot, nous devons expliquer l'expression de côté mystérieux dont nous venons de nous servir.

Si l'on examine, non pas superficiellement comme l'ont fait la plupart de ceux qui ont parlé de cet appareil, mais avec attention, la locomotive de Cugnot, on est frappé de l'état singulièrement incomplet de la chaudière. Si nous étudions son mode de

chauffage, nous trouvons qu'elle ne possède pas de grille et qu'il n'y aurait pas la place d'en mettre une, la distance entre le fond de la chaudière et la paroi du cendrier n'étant que de 22 cm au centre ; le fond du cendrier n'étant aucunement percé de trous, contrairement à ce qu'indique le dessin de E. A. Cowper, on ne voit pas par où l'air nécessaire à la combustion pourrait s'introduire, à moins qu'on ne comptât brûler du bois sur le fond du cendrier avec introduction de l'air par la porte, ce qui donnerait une bien médiocre combustion, et ce, d'autant plus que l'enveloppe métallique du foyer, faite en deux parties, est grossièrement ajustée, comme on peut le voir en examinant la machine, et laisserait rentrer l'air par beaucoup de points du joint.

Si on passe à l'étude de la chaudière, on ne sera pas moins étonné : celle-ci ne possède, en fait d'accessoires, que le tuyau conduisant la vapeur à la machine, assemblé par des boulons au haut de la chaudière et un bouchon de vidange à vis placé au-dessous du générateur en plein dans le feu, s'il pouvait jamais y avoir eu du feu ; en dévissant ce bouchon avec une longue clé introduite par la porte du fourneau, on serait arrivé, le feu éteint bien entendu, à vider la chaudière dans le foyer, où elle serait en partie restée, vu la forme concave du fond de ce foyer.

Pour remplir la chaudière il n'y a pas d'autre orifice que celui où s'ajuste le tuyau de vapeur dont il faudrait démonter le joint (1), ce qui exige évidemment que la chaudière soit froide ou à peu près. Il n'existe enfin ni soupape de sûreté, ni tubes de jauge pour le niveau d'eau, appareils qui ne pouvaient cependant être inconnus de Cugnot lequel, en sa qualité d'ingénieur militaire, devait être familier avec l'ouvrage de Bélidor *Architecture hydraulique* publié en 1739 et où on trouve la description détaillée des machines à vapeur de l'époque ; on sait que Bélidor appartenait également à ce que nous appellerions aujourd'hui le génie militaire. Il est à peine besoin de signaler en outre les dangers qu'eût présentés l'emploi d'un générateur de vapeur ainsi dépourvu de tout moyen de sécurité et de contrôle.

Il est certain que la chaudière de la machine de Cugnot, telle que nous la voyons aujourd'hui, est incapable de fonctionner. Si comme on le dit, c'est la seconde faite, elle paraît présenter tous les défauts qu'on a signalés pour la première et, de plus, un état incomplet à un degré extrême. Il semblerait que ce générateur

(1) Voir la note A à la fin de l'ouvrage.

n'a pas été terminé et qu'on s'est borné à le mettre en place tel quel de manière que la machine pût figurer comme modèle dans une collection. Il est singulier que personne, à notre connaissance du moins, n'ait signalé ce fait étrange sur lequel nous croyons avoir été le premier à appeler l'attention dans le *Bulletin* de janvier 1896 de la *Société des Ingénieurs Civils de France.*

Nous tenons, en tout cas, à mettre hors de cause ici la personnalité de Cugnot qui n'est très probablement pour rien dans ces défectuosités et dont le mérite comme auteur du premier véhicule automobile ne doit pas en recevoir d'atteinte.

Nous ajouterons que, d'après un dire de Philippe Gengembre, dont Cugnot fut le professeur de mathématiques et qui, à l'âge de treize ans, eut l'occasion de monter sur la voiture dont nous nous occupons, le vrai nom de l'inventeur serait Cueugnot (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1848, p. 97).

Les chaudières à base circulaire ne pouvaient acquérir de grandes dimensions sans occuper beaucoup de place. Cette forme utilise bien moins l'espace en plan que la forme rectangulaire.

On attribue à Watt les premières chaudières à axe horizontal, car on les voit figurer dans les dessins des machines à simple effet de ce grand mécanicien, lesquelles datent de 1775 environ. Ces générateurs ont reçu, en Angleterre, le nom de *wagon-boilers* d'après l'analogie qu'ils présentaient avec les grands véhicules couverts à quatre roues servant au transport des marchandises et qui portaient le nom de *wagons*. On a traduit ce nom en français par celui de *tombereau* dont certains ont fait peut-être par corruption *tombeau;* on peut cependant justifier cette dernière expression, au moins dans une certaine mesure, en la donnant comme la traduction approchée de l'expression *hearse boiler*, quelquefois rencontrée en anglais; hearse signifie bière ou cercueil.

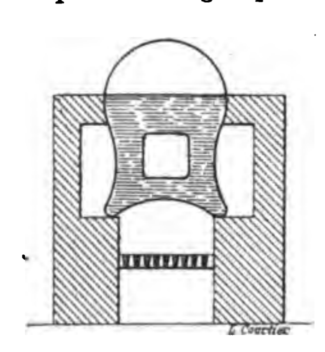


Fig. 9. — Chaudière à tombereau de Watt (1775).

L'idée qui présidait au choix de cette forme représentée figure 9 était le désir d'avoir à la partie inférieure une grande surface de chauffe qu'on regardait comme plus efficace que les surfaces verticales. La forme circulaire ne permettait pas d'y arriver, pas plus qu'à donner un volume d'eau suffisant, tandis qu'avec une

largeur en plan égale au diamètre du cercle, on pouvait gagner de l'espace en longueur. Ainsi avec 1 m d'espace disponible en travers on était limité à une surface de 0,78 m avec une chaudière en cuve, tandis qu'avec la disposition en longueur on arrivait à 1, 2, 3, 4, etc.

La section primitive, formée d'un rectangle fermé par le haut par un demi-cercle, ne tarda pas à être modifiée par une courbure concave donnée aux faces planes dans le but d'augmenter la résistance des parois à la pression intérieure créée autant par le poids de l'eau que par la pression de la vapeur et aussi, dit-on, pour accroître la section des carneaux latéraux.

Plus tard, on arma intérieurement ces générateurs de tirants reliant les faces planes pour les mettre à même de supporter une certaine élévation de pression. Les grandes chaudières avaient un carneau intérieur de section rectangulaire ou circulaire formant retour vers le bas. Ces chaudières étaient le plus souvent en tôle de fer, plus rarement en cuivre. Watt leur donnait une capacité de 20 à 25 pieds cubes, soit 560 à 700 l par force de cheval.

Bourne donne, dans l'ouvrage déjà cité, un tableau des divers types des chaudières à tombereau de Boulton et Watt; le plus grand, celui de 45 ch, a 5,80 m de longueur, 1,83 m de largeur au niveau d'eau et 2,20 m de hauteur; le carneau rectangulaire avec les faces latérales convexes avait 0,75 m de largeur sur 0,91 de hauteur. La surface de chauffe était de 40,75 m^2, le volume d'eau de 9 600 l et le volume de vapeur de 7 500.

Ces chaudières étaient munies du tube de niveau en verre dû, paraît-il à Watt, et d'appareils d'alimentation à colonne d'eau et flotteur, ainsi que de soupapes de sûreté, bien que la colonne d'eau d'alimentation en tint lieu dans une certaine mesure, et d'une soupape de rentrée d'air ou reniflard, pour empêcher la chaudière de s'écraser, si le vide se faisait à l'intérieur au refroidissement.

Les chaudières à tombereau étaient encore très employées en Angleterre vers 1830; elles ont commencé à disparaître à partir de cette époque parce qu'on trouvait utile d'élever les pressions. On peut admettre une coïncidence entre ce fait et le développement des chemins de fer qui constituait le triomphe de la haute pression.

La chaudière à tombereau a été remplacée par la chaudière à corps cylindrique introduite, dit-on, en Cornouailles par Trevi-

thick. Cet inventeur appliqua d'abord la haute pression à des machines à rotation déplaçables que nous appellerions aujourd'hui machines demi-fixes. Le cylindre était dans la chaudière; une enveloppe cylindrique en fonte fermée par un fond convexe venu de la même pièce contenait un foyer en tôle; nous reviendrons sur ce type qui rentre dans la classe des chaudières à chauffage intérieur.

Le succès obtenu avec ces machines engagea Trevithick à appliquer la haute pression à des machines d'épuisement d'un type analogue aux machines à simple effet de Watt, seul système em-

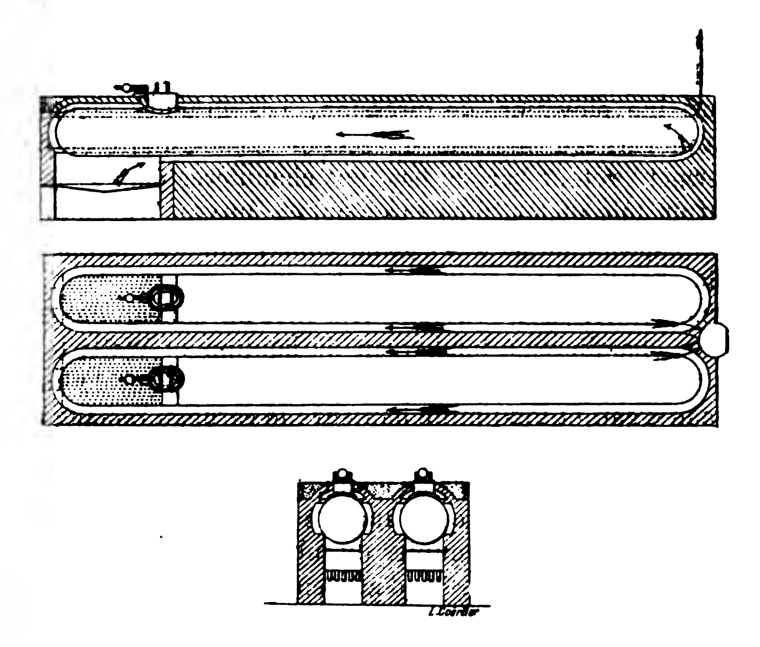


Fig. 10. — Chaudières cylindriques horizontales de Trevithick (1810).

ployé jusqu'alors. Il établit dans ce but des chaudières cylindriques contenues dans des massifs de briques et chauffées par l'extérieur. Nous verrons plus loin qu'Evans fit aux États-Unis, à peu près en même temps que Trevithick en Angleterre, usage de chaudières cylindriques horizontales chauffées extérieurement. Nous trouvons dans l'intéressant ouvrage *Life of Trevithick* des détails sur l'installation faite en 1810 à la mine de Wheal Prosper en Cornouailles. Il y avait trois générateurs de 0,915 m de diamètre et 12,20 m de longueur, travaillant à 100 livres par pouce carré, soit 7,1 kg par centimètre carré. Ces chaudières (*fig. 10*)

étaient placées dans des fourneaux en maçonnerie avec une inclinaison vers la grille de 3 centimètres par mètre pour laisser plus d'espace à la vapeur dans la partie opposée au foyer où se trouvait la prise de vapeur; la flamme passait d'abord sous la chaudière, puis revenait par les côtés de celle-ci pour retourner ensuite vers la cheminée en léchant la partie supérieure de manière à sécher et surchauffer même la vapeur. Cette disposition ne parait pas avoir amené d'inconvénients, probablement parce que la fumée était déjà très refroidie par les deux premiers parcours. Ces chaudières portaient à la partie supérieure un trou d'homme en fonte et une soupape de sûreté chargée par l'intermédiaire d'un levier.

On construisait ces générateurs avec des tôles de 1 demi-pouce, 12,7 mm d'épaisseur; elles n'avaient guère que 0,305 × 0,915 m. On les cintrait au marteau et on posait les rivets à la main; les trous se rencontraient assez mal et il fallait les ovaliser pour faire entrer les rivets; aussi le rivetage était-il fort imparfait et on avait l'habitude de mettre de l'étoupe entre les parties en contact des tôles avant le rivetage. Malgré ces précautions et l'emploi abondant de crottin de cheval introduit dans les chaudières, ces dernières fuyaient énormément; aussi couvrait-on la partie supérieure d'une épaisse couche de cendres, ce qui n'empêchait pas les chaudières, généralement établies en plein air, d'être enveloppées d'un nuage compact de vapeur qui les faisait reconnaître à grande distance.

Avec la pression de 100 livres l'étoupe ne tardait pas à brûler et les fuites ne faisaient qu'augmenter. Trevithick finit par proscrire entièrement l'usage de l'étoupe devenu tout à fait inefficace. On comprend qu'en présence de la difficulté de rendre les chaudières en tôle bien étanches, certains Ingénieurs préférassent l'usage de la fonte, malgré les risques à courir. C'est ce que fit Woolf, comme nous le verrons plus loin.

Trevithick parle de chaudières de 0,915 de diamètre et 13,70 m de longueur, donnant de la vapeur à 10,5 kg de pression. Nous croyons intéressant d'indiquer qu'il utilisa d'abord la vapeur produite dans ces générateurs, vapeur qu'il appelait *strongsteam* (vapeur forte) dans des machines d'épuisement à traction directe d'une disposition originale désignée sous le nom de *pole engine* (machine à piston plongeur). Le piston avait, en effet, la forme d'un long cylindre dont la tête était reliée par une courte traverse et deux tirants latéraux à la maîtresse tige des

pompes; ce piston était contenu dans un cylindre, avec un faible intervalle entre les deux. Une soupape introduisait la vapeur dans le cylindre et se refermait rapidement, de sorte que la vapeur, en se détendant, poussait le plongeur jusqu'à l'extrémité de sa course; une autre soupape s'ouvrait alors et laissait échapper la vapeur dans l'atmosphère ou plus rarement dans un condenseur et le piston retombait entraîné par le poids des tiges.

Trevithick parle de machines de ce genre ayant des plongeurs de 0,406 m de diamètre et 3,05 ou même 3,66 m de course.

Ces machines, simples et peu coûteuses, disparurent rapidement, car elles étaient très peu économiques, d'abord à cause des grandes surfaces intérieures soumises aux variations des températures correspondant à l'admission et à l'échappement et aussi à cause des énormes espaces nuisibles qui causaient de très fortes pertes de vapeur.

Un fait digne d'être signalé est qu'avant de supprimer ces machines, on tenta de les améliorer en les combinant avec des machines à basse pression de manière à former un moteur à double expansion. La première application de cet arrangement fut faite en 1815 par Trevithick et Sims aux mines de Treskesly; le cylindre à plongeur était placé à côté du cylindre à basse pression du même côté de l'axe du balancier, sa tige attaquait le balancier dans sa partie moyenne; le bas du cylindre à plongeur était en communication avec le haut du cylindre à basse pression de manière que la vapeur, après avoir agi pour soulever le plongeur, venait se détendre dans la partie supérieure du grand cylindre.

Celui-ci avait 1,473 m de diamètre et 2,75 m de course, le plongeur 0,915 m de diamètre et une course de moitié de celle de l'autre, soit 1,375 m; le rapport des volumes était de 5 environ. La vapeur était fournie à la pression de 7 kg par des chaudières cylindriques horizontales de Trevithick.

Cette installation fut reproduite peu après aux mines de Wheal Chance; on réalisa avec cet arrangement un *duty* de 47 millions de pieds-livres par boisseau de charbon de 84 livres, ce qui correspond à une consommation de 1,58 kg de combustible par cheval en eau montée. Le meilleur rendement des machines de Watt, en 1811, avait été reconnu être de 20 millions, soit 3,70 kg par cheval; le *duty* s'était donc accru dans le rapport de 1 à 2,25. Malgré ces avantages la disposition en question ne se répan-

dit pas; on préféra appliquer la haute pression à la vieille machine à simple effet de Watt, pourvue de quelques modifications de détail, et on créa ainsi le célèbre type de machine dit de Cornouailles. On ne doit pas néanmoins oublier la tentative de Trevithick dans l'histoire de la machine compound.

On a, surtout dans les forges, disposé verticalement les chaudières cylindriques à chauffage extérieur. On les a aussi, mais plus rarement placées dans une position inclinée. Ainsi dès 1830, Henschel, constructeur à Cassel, fondateur de l'importante maison de ce nom, aujourd'hui une des plus considérables de l'Allemagne, établit des chaudières formées de plusieurs tubes parallèles inclinés de 10 à 20 degrés sur l'horizontale et placés dans un fourneau à flamme descendante *(fig. 11)*. Pour de petites forces,

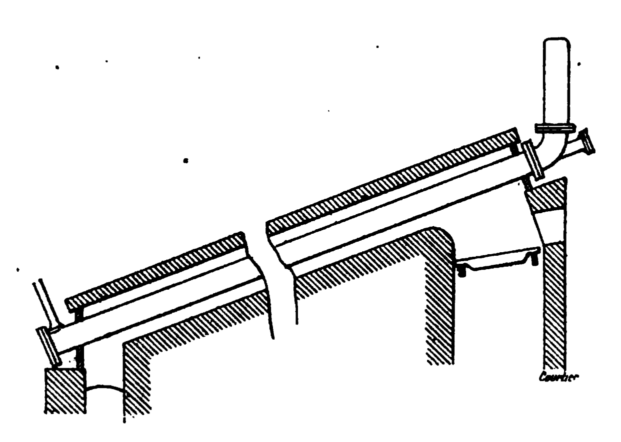


Fig. 11. — Chaudière de Henschel (1830).

ces tubes étaient en cuivre et avaient 0,09 m de diamètre et 3,30 m de longueur. Une chaudière de 40 à 50 ch, établie aux houillères de Obernkirchen était composée de cinq bouilleurs en tôle de 0,35 m de diamètre et 7,50 m de longueur. Ces générateurs étaient faciles à nettoyer et contenaient très peu d'eau, ce qui était considéré comme une condition favorable au point de vue de la sécurité. Pour réduire encore le volume d'eau, Henschel conseillait de placer dans les bouilleurs des pièces de bois à section circulaire. On trouvera la description de ces chaudières dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, année 1845.

Henschel modifia plus tard ce générateur, en faisant partir les divers bouilleurs d'un réservoir cylindrique horizontal, tout en les laissant inclinés.

Trevithick imagina, en 1815 (nous ne croyons pas qu'il l'ait exécutée), une chaudière à haute pression formée de plusieurs éléments, qu'il décrit avec un croquis, que nous reproduisons ici, dans une lettre adressée à Davies Gilbert, à la date du 16 mai 1815; elle est aussi décrite dans un brevet de Trevithick, en date du 8 juin de la même année. Ce générateur (*fig. 12*), se composait d'un corps cylindrique horizontal de 0,915 m de diamètre et 3,05 m de longueur, fait en tôle et à la partie inférieure duquel s'ajustaient par des brides boulonnées trois cylindres verticaux également en tôle et des

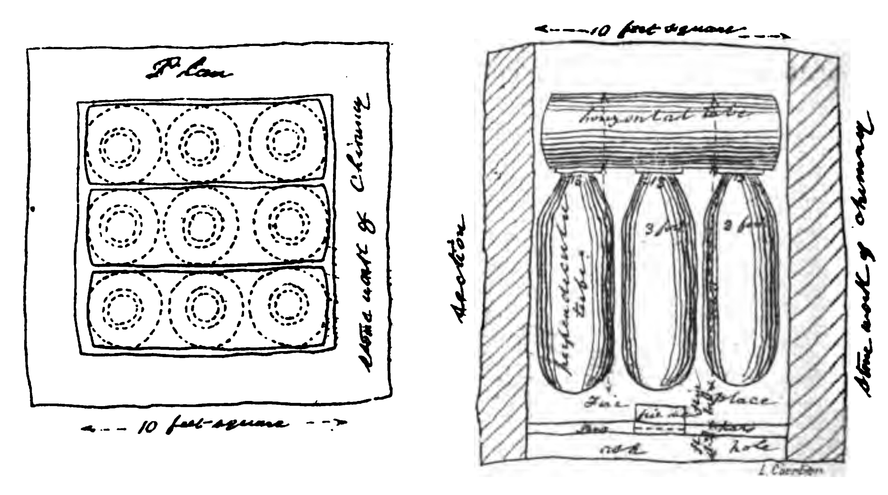


FIG. 12. — Projet de chaudières par Trevithick (1815).

mêmes dimensions. Trois éléments semblables étaient disposés parallèlement dans un fourneau en maçonnerie. L'inventeur ajoute que, pour des générateurs de type transportable ou pour les bateaux, le fourneau serait en tôle garnie à l'intérieur de matières réfractaires. Trevithick se proposait d'employer ces chaudières pour des pressions de 200 livres, soit 14 kg

Arthur Woolf appliqua, comme on sait, à la machine à deux cylindres d'Hornblower, des pressions supérieures à la basse pression employée exclusivement par Watt, mais moins élevées que celles de Trevithick; il n'avait, en effet, pas besoin d'y recourir, puisqu'il conserva toujours l'usage de la condensation. Trevithick, au contraire, ayant débuté par faire des machines portatives ou même automobiles, ne pouvait les embarrasser d'un condenseur et devait dès lors employer des pressions relativement élevées.

Woolf fit ses chaudières en fonte en les composant de parties de diamètre assez faible pour que ce métal donnât une sécurité suffisante et en les disposant (*fig. 13*) avec un ou deux corps reliés avec des bouilleurs placés au-dessous, dans le sens de la longueur du fourneau. C'est le point de départ de la chaudière actuelle à bouilleurs. Ce type date de 1804, la pression de la vapeur était de 40 à 50 livres, soit 3 à 3 1/2 kg, pressions qui furent longtemps celles des machines à deux cylindres dites de Woolf en Angleterre et en France.

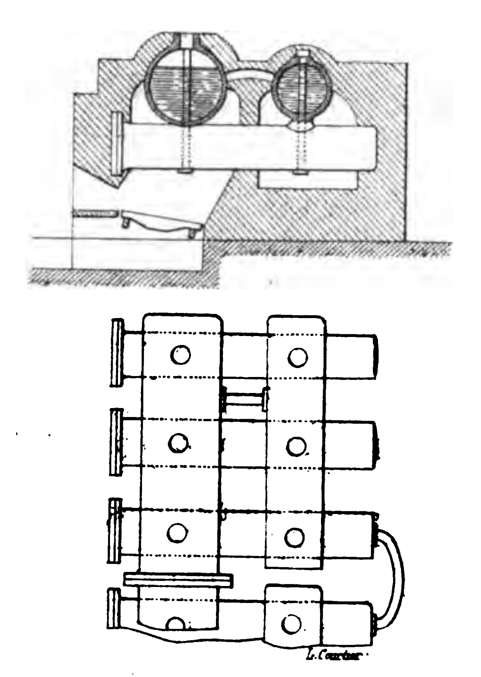


Fig. 13. — Chaudière à bouilleurs de Woolf (1804).

Nous croyons que la forme courante de la chaudière à deux bouilleurs placés sous le corps principal parallèlement à celui-ci est due à Edwards père, qui fut associé de Woolf pour l'exploitation d'un petit atelier de construction à Lambeth, quartier de Londres, et qui l'introduisit en France; le brevet d'importation d'Edwards est du 25 mai 1815. La figure 14 représente la forme décrite au brevet. La chaudière est en quatre parties, dont deux réunies par des brides boulonnées formant le corps principal; ces chaudières furent faites plus tard en tôle avec quelques variantes de détail : ainsi les communications entre les bouilleurs et le corps étaient hautes ou basses, assemblées par rivets ou démontables.

L'ouvrage de Christian *Mécanique industrielle*, publié en 1825, donne le dessin (*fig. 15*) d'une chaudière en fonte avec des bouilleurs d'une disposition particulière; le texte ne donne aucune indication sur l'auteur de cette chaudière. Mais nous trouvons dans l'*Engineer* du 6 mai 1870, page 277, un dessin de la machine d'épuisement de Wheal Alfred en Cornouailles, établie par Woolf en 1829, dessin dans lequel figure une chaudière exactement

semblable. Nous pouvons donc attribuer ce type à Woolf. S'il est antérieur à celui d'Edwards, ce dernier en serait une simplifi-

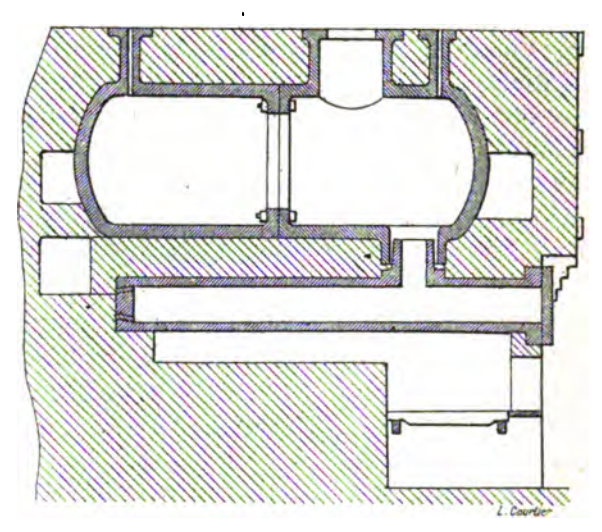


Fig. 14. — Chaudière à bouilleurs d'Edwards (1815).

cation qui a eu beaucoup plus de succès que la chaudière primitive.

La chaudière à bouilleur est appelée par les Anglais *chaudière éléphant* ou chaudière française, non à cause de son origine puisqu'elle est due à des Anglais, mais parce qu'elle a été employée presque exclusivement en France. Il paraît toutefois qu'à une certaine époque, la maison Hall de Dartford qui construisait des machines de Woolf, fit beaucoup de chaudières de ce système pour les manufactures de tissus du Lancashire.

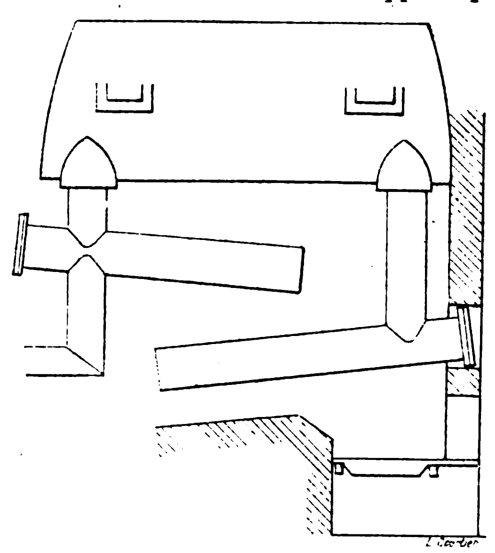


Fig. 15. — Chaudière à bouilleurs de Woolf (1810).

On a presque toujours fait la chaudière dont nous nous occu-

pons avec deux bouilleurs ; cependant l'arrangement avec trois bouilleurs a été assez souvent employé en Alsace.

Une des plus importantes modifications apportées à la chaudière à bouilleurs, modification faite il y a une cinquantaine d'années consiste à remplir le corps cylindrique de tubes à fumée; on augmente par là, dans une très large mesure, la surface de chauffe et la puissance de la chaudière, mais en atténuant en même temps notablement les avantages reconnus du type primitif.

En effet, le volume d'eau est diminué et, la surface du plan d'eau restant la même pour une production de vapeur beaucoup plus intense, les conditions d'émersion de la vapeur deviennent bien moins favorables, autrement dit, on a de la vapeur moins sèche.

De plus, la superposition des surfaces de chauffe gêne la production, car le faisceau tubulaire se trouve en contact moins avec de l'eau qu'avec de la vapeur provenant des bouilleurs.

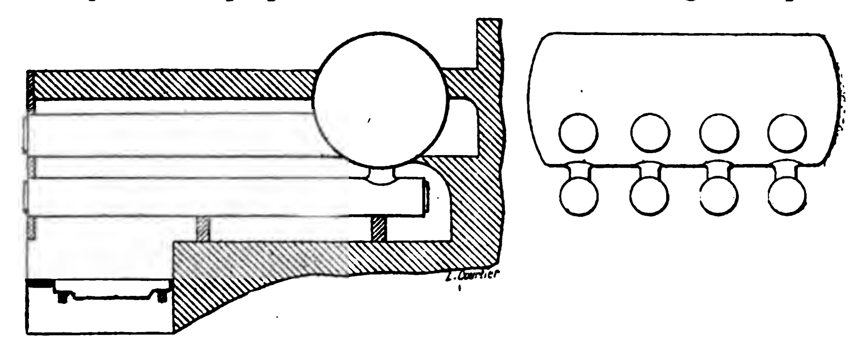


Fig. 16. — Chaudière à bouilleurs de Legavrian et Farinaux (1848).

Dans les chaudières à bouilleurs, les bouilleurs sont chauffés avant le corps; on a modifié cette disposition, et nous croyons que cette modification est due à Cail, en chauffant la chaudière avant les bouilleurs qui deviennent ainsi des réchauffeurs, l'eau d'alimentation y étant introduite d'abord et circulant ainsi en sens inverse des gaz de la combustion; ce système a reçu beaucoup d'applications surtout avec la disposition due à Farcot consistant à mettre les bouilleurs réchauffeurs latéralement à la chaudière.

Disons, pour terminer avec ce sujet, que la forme primitive de Woolf a été reprise vers 1848, avec construction en tôle par Legavrian et Farinaux, de Lille, qui obtinrent de très bons résul-

tats de chaudières disposées comme l'indique la figure 16. C'est avec un générateur de ce système qu'ils obtinrent en 1848, *ex æquo* avec Farcot, le prix offert par la Société d'Encourgement pour les meilleures machines à vapeur au point de vue de l'économie de combustible.

Chapitre III.

Chaudières non tubulaires à chauffage totalement ou partiellement intérieur.

L'idée de chauffer un liquide par des surfaces de chauffe contenues dans le liquide même remonte au commencement de l'ère chrétienne, puisqu'on a découvert à Pompéi des vases ainsi disposés et dans lesquels il a fallu une certaine complaisance pour trouver l'origine de la chaudière tubulaire. D'après Stuart (*Historical and Descriptive Anecdotes on the Steam Engine*), sir Robert Moray et un certain docteur Goddard auraient, en 1663, proposé de brasser la bière dans des cuves en bois dont le fond serait en cuivre et porterait un globe de même métal surmontant un foyer extérieur. Il ne s'agissait jusqu'ici que de chauffer des liquides.

On peut être conduit à adopter le mode de chauffage par l'intérieur par trois espèces de considérations : 1° si les matières formant l'enveloppe extérieure de la chaudière sont combustibles ou mauvais conducteurs de la chaleur, cas du bois et de la pierre ; 2° si la surface de chauffe doit être plus considérable que ne l'est la surface extérieure de la chaudière ; 3° si l'appareil doit être léger, contenir relativement peu d'eau, cas général des chaudières transportables. Il arrive souvent que les deux dernières conditions se présentent à la fois; c'est, en tout cas, à la première que sont dues probablement les premières applications.

En effet, James Brindley prit, en 1759, une patente pour des chaudières en bois ou en pierre ou briques avec foyer intérieur entouré d'eau et cheminée en métal sortant de l'eau, dans le but, disait-il, d'économiser la chaleur perdue dans le système ordinaire de construction. Nous n'avons pas mentionné cette

considération dans l'exposé qui précède parce que nous ne la considérons pas comme justifiée.

Brindley exécuta plusieurs de ces chaudières en maçonnerie. Smeaton en décrit une qui alimentait de vapeur une machine de Newcomen, à Camborne, en Cornouailles; elle avait 6,70 m de longueur, 8,75 m de largeur et 2,50 m de hauteur; elle contenait trois tubes en cuivre de 0,55 m de diamètre. Cette chaudière n'avait pas de foyer, étant chauffée par les gaz d'un four de grillage. Les parois étaient formées de blocs de granit cimentés avec un mastic formé de litharge, minium et huile de lin, et la chaudière était, d'après un renseignement donné dans l'ouvrage *Life of Trevithick*, consolidée par des barres de fer serrées par des clavettes. Il est dit, dans cet ouvrage, qu'on voyait encore en 1830, près de Camborne, un dallage de plusieurs mètres carrés établi en blocs de granit et que des gens se souvenaient d'avoir vu des murs de 1 m à 1,20 m de hauteur à côté et construits de même; un certain Joseph Vivian disait que ses oncles avaient été chargés de couper les tuyaux de cuivre ayant servi au chauffage de la chaudière.

Partington dit qu'on fit en Amérique un usage assez fréquent de chaudières en bois cerclées en fer qui avaient l'avantage de conserver la chaleur; nous citerons plus loin des exemples de chaudières de ce genre établies au début du siècle dernier.

Nous avons vu précédemment qu'on fit, en 1763, pour des machines de Newcomen, des chaudières dans la partie inférieure desquelles était établi un carneau en spirale; ces chaudières pourraient à la rigueur figurer dans la présente catégorie aussi bien que dans celle où nous les avons mises.

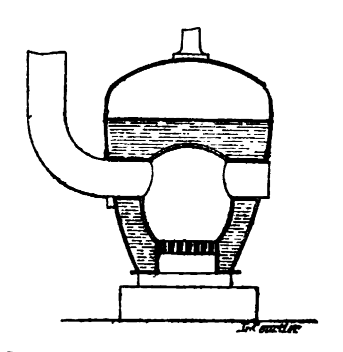


Fig. 17. — Chaudière transportable de Smeaton (1763).

Smeaton étudia, en 1765, une chaudière transportable *(fig. 17)* chauffée par l'intérieur et constituée par une enveloppe contenant un foyer sphérique avec deux gros tubes, l'un pour charger la grille, l'autre aboutissant à la cheminée ; l'enveloppe, en tôle de 6 mm d'épaisseur, avait 1,83 m de diamètre, le foyer 0,90 m et la grille 0,45 m de diamètre ; ce générateur devait alimenter de vapeur à basse pression une machine de 4 ch environ.

On ne sait si cette étude constitue un simple projet ou si elle a été mise à exécution.

A la fin du XVIIIe siècle, Oliver Evans fit aux États-Unis des chaudières cylindriques horizontales contenant un carneau intérieur à section circulaire. Le chauffage se faisait par le dehors et la flamme revenait par le carneau intérieur; ces chaudières datent de 1799 ou 1800; elles fournissaient de la vapeur à 100 livres, 7 atm; elles étaient en tôle douce, sauf les deux fonds plats qui étaient en fonte très épaisse assemblée par des boulons de 25 mm de diamètre avec l'enveloppe. Evans fit aussi à la même époque des chaudières cylindriques horizontales sans carneau intérieur, chauffées entièrement à l'extérieur, comme celles que nous avons dit avoir été faites par Trevithick. Dans celles d'Evans, les fonds plats étaient en fonte très épaisse, tandis que celles de Trevithick se terminaient par des calottes sphériques. Evans indique l'addition d'un réchauffeur d'eau d'alimentation placé à la suite de la chaudière et dans lequel refoule la pompe alimentaire. Il parle aussi, dans son ouvrage *Manuel de l'Ingénieur-Mécanicien-Constructeur de machines à vapeur*, paru en 1805 et dont la traduction française a été publiée en 1821, du tube de niveau d'eau en verre dont il dit ne pas connaître l'inventeur et qu'il considère comme une heureuse application d'un simple principe d'hydrostatique qui mérite d'être connu et propagé davantage.

Pendant que nous sommes sur le chapitre des chaudières d'Evans, nous dirons que l'usage de ces chaudières cylindriques sans carneaux intérieurs s'est longtemps conservé dans les usines métallurgiques américaines, où elles atteignaient des dimensions extraordinaires. On en voyait des batteries avec 1,066 m de diamètre et jusqu'à 19,50 m de longueur; lorsque les tôles du fond commençaient à s'user, on les retournait en mettant la partie inférieure en haut pour prolonger leur existence. Ces générateurs étaient simples et peu coûteux, mais on ne pouvait guère s'en servir que là où le terrain n'avait que peu de valeur, car la surface de chauffe était faible par rapport à l'encombrement. De plus, la grande longueur, en présence de la dilatation inégale du bas et du haut, les faisait cintrer, ce qui amenait quelquefois des explosions. On trouvait avantageux de les couper en deux, de manière à faire deux corps qu'on laissait en prolongement l'un de l'autre en y ajoutant des communications pour l'eau et la vapeur.

La première chaudière à foyer intérieur de Trevithick remonte à 1802 à peu près. Elle était faite pour voiture automobile, mais l'inventeur en fit beaucoup d'applications à des machines fixes ou plutôt demi-fixes. Elle se composait d'une enveloppe cylindrique, généralement en fonte, de 1,80 m à 2 m de diamètre, faite quelquefois en deux ou trois parties réunies par des brides boulonnées; un des fonds, de forme convexe, était venu de fonte avec la partie adjacente de l'enveloppe. A l'intérieur était un foyer en tôle en forme de tube en U fixé à l'autre fond boulonné à l'enveloppe. Ce tube avait 0,75 m de diamètre au foyer et se rétrécissait jusqu'à n'avoir plus que 0,35 à 0,40 m à la cheminée qui se trouvait à côté de la porte du foyer *(fig. 18)*. Le cylindre, horizontal ou vertical, était disposé dans la chaudière de manière à être baigné dans la vapeur ou l'eau chaude. Ces chaudières étaient faites pour travailler à une pression de 60 livres, 4,2 kg par centimètre carré. On rattachait quelquefois le foyer à l'enveloppe par un tirant en fer bifurqué *(fig. 19)*. Ces chaudières portaient au-dessus du foyer un bouchon fusible, dont Trevithick paraît être l'inventeur. Ces machines, toujours sans condensation, étaient munies d'un réchauffeur d'eau d'alimentation, formé d'un tube allant de la pompe alimentaire à la chaudière, contenu sur une partie de sa longueur dans le tuyau d'échappement de la vapeur sortant du cylindre.

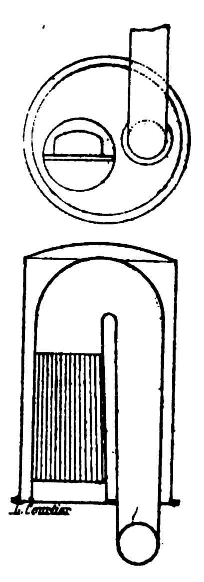


Fig. 18. — Chaudière de Trevithick (1802).

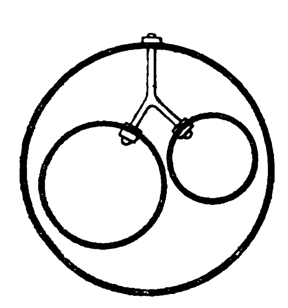


Fig. 19. — Chaudière de Trevithick avec tirants.

Nous ne saurions omettre de dire ici qu'à la même époque, 1802, Desblancs, horloger à Trévoux, fit, pour un bateau qu'il construisit, une chaudière à enveloppe en bois doublé de tôle mince et cerclée en fer *(fig. 20)* contenant un foyer prolongé par des conduits contournés. La cheminée était à l'opposé de la porte du foyer et le conduit passait pour s'y rendre par une sorte de presse-étoupe disposé sur le fond concave de la chaudière; elle était faite pour

une très faible pression, le moteur étant à condensation; le brevet de Desblancs est du 7 avril 1802 et le modèle du bateau se trouve dans les collections du Conservatoire des Arts et Métiers (1).

Des chaudières du même genre sont décrites dans le *Traité de Mécanique appliquée aux arts*, de Borgnis, Paris 1818. La première,

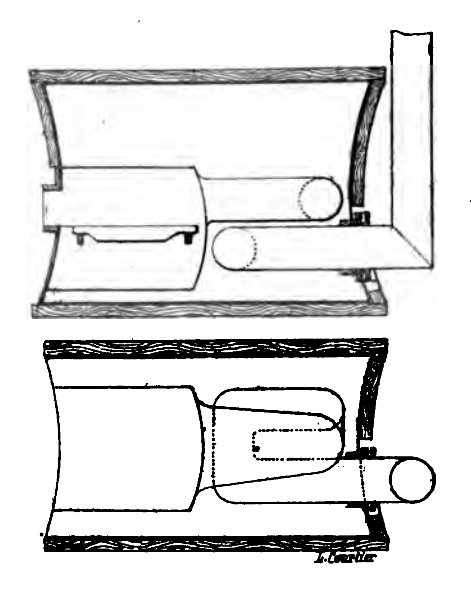


Fig. 20. — Chaudière en bois de Desblancs (1802).

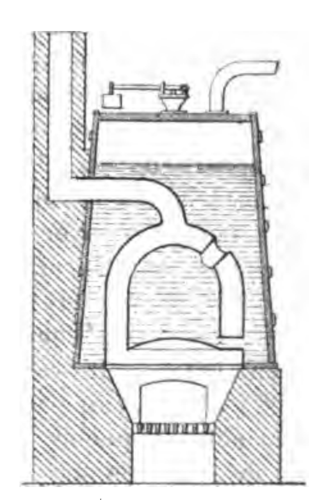


Fig. 21. — Chaudière en bois de Droz (1797).

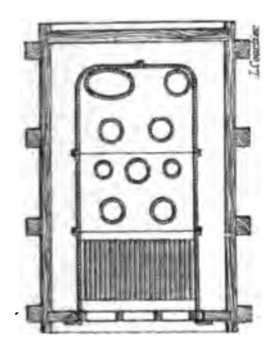
due à Droz, consiste en une cuve en bois cerclée en fer de forme tronconique, 2,10 m de diamètre à la base et 1,70 m à la partie supérieure et 2,70 m de hauteur. Cette cuve (*fig. 21*) contient une double cloche dont la partie intérieure contient de l'eau en communication avec celle de la cuve. Au-dessous de la cloche se trouve le foyer. Cette chaudière a fait l'objet d'un rapport à l'Institut de France par Coulomb et Prony, rapport dans lequel il est indiqué qu'elle aurait été établie en 1797 et employée à fournir la vapeur à une machine à double effet. Nous avons quelques raisons de croire que l'auteur de ce générateur était J.-P. Droz, né à La Chaux-de-Fonds, mort à Paris en 1823, qui fut directeur des Monnaies sous l'Empire; il avait été en Angleterre et y avait suivi la fabrication monétaire dans les

(1) Le catalogue des collections de cet établissement dit que ce modèle est à l'échelle d'un demi. Comme il a 1,65 m de longueur, le bateau n'aurait eu que 3,30 m !

ateliers de Boulton, où il avait dû se mettre au courant de la construction des machines à vapeur.

Une autre chaudière décrite par Borgnis est attribuée par lui à un certain O'Reilly; c'est une caisse parallélipipédique en bois, contenant un foyer et des carneaux en fonte.

L'*Engineer* donne, dans son numéro du 3 novembre 1876, des détails intéressants empruntés au *Journal of the Franklin Institute* sur une chaudière en bois des Centre Square Water Works, de Philadelphie, qui a fonctionné de 1801 à 1815. Nous en donnons les dessins figure 22, d'après les *Proceedings* de l'*American Society of Mechanical Engineers*, vol. VI (1884-85).



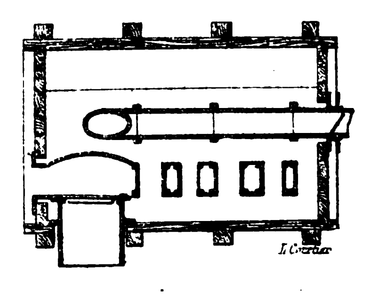


Fig. 22. — Chaudière américaine en bois (1801).

Ce générateur était formé d'une caisse en bois en forme de parallélipipède de 4,20 m de longueur sur 2,75 m de largeur et autant de hauteur, dont les parois étaient constituées par des madriers de pin de 0,10 m d'épaisseur; des armatures extérieures en chêne serrées par des boulons consolidaient l'ensemble.

L'appareil de chauffage était formé par une boite rectangulaire en fonte de 3,60 m de longueur, 1,80 m de largeur et 0,48 m de hauteur, dont les parois horizontales étaient reliées par six tubes venus de fonte de 0,40 m de diamètre et deux de 0,30 m. A la partie inférieure d'une des extrémités de cette caisse était le foyer avec grille de $0{,}91 \times 1{,}50$ m ; la surface de chauffe était de 33,5 m². A la partie supérieure de l'autre extrémité de la caisse de chauffage étaient deux tubulures ovales aboutissant à une cheminée extérieure. Cette chaudière a donné de bons résultats, mais à condition de remplacer fréquemment

les planches dont le bois s'usait rapidement dans la partie en contact avec la vapeur.

On cite un bateau à vapeur dont la chaudière en bois fit explosion, à Norwich, aux États-Unis, en 1817, en causant des dégâts considérables, heureusement sans accidents graves de personnes.

Des chaudières assez analogues à celles de Trevithick, mais avec l'enveloppe en partie rectangulaire et les foyers et carneaux en forme d'ellipse furent faites par Hallette un peu plus tard pour des machines à basse pression, ce qui permettait de les

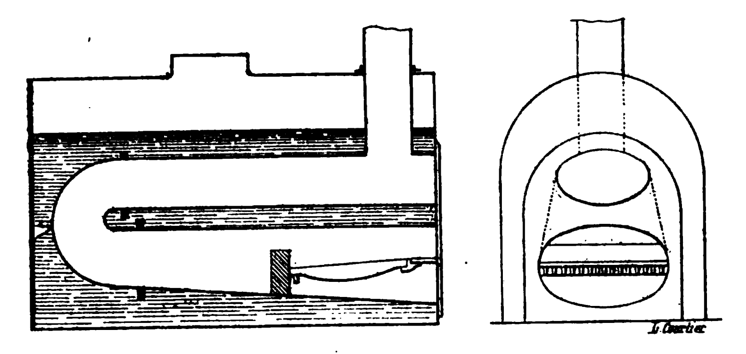


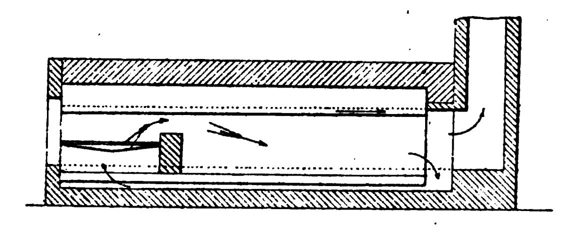
Fig. 23. — Chaudière de Hallette (1825).

établir entièrement en fonte *(fig. 23)*. Le brevet d'Hallette est du 3 décembre 1823.

Revenons à Trevithick. Il construisit, vers 1806, de grandes chaudières cylindriques disposées horizontalement et contenant un tube de 0,915 m de diamètre formant foyer intérieur; le retour de fumée se faisait par l'extérieur dans des carneaux en briques. Ces chaudières avaient 1,67 m de diamètre et environ 12 m de longueur; elles travaillaient à des pressions allant de 7 à 10 kg.

Trevithick établit, en 1811, pour les mines de Dolcoath, en Cornouailles, une batterie de trois générateurs semblables, dont deux de 1,525 m de diamètre et 5,50 m de longueur avec foyer intérieur à section ovale de 1,01 m dans le sens horizontal et 0,915 m dans le sens vertical; la troisième chaudière avait 1,88 m de diamètre et 6,70 m de longueur avec un foyer intérieur à section circulaire de 0,915 m *(fig. 24)*; ces générateurs étaient placés dans un massif de maçonnerie avec carneaux pour le retour des gaz de la combustion.

Ces foyers ovales devaient être assez dangereux avec les pressions employées; on les reliait, il est vrai, à l'enveloppe par quelques boulons, mais probablement seulement lorsque le foyer donnait quelques indices d'aplatissement imminent et on ne dépassait guère des tensions de 3 1/2 kg. Les soupapes de sûreté étaient chargées par l'entremise d'un levier de 0,915 m de longueur. Trevithick dit avoir fait, dès 1806, des chaudières de 2,50 m de diamètre et 15 de longueur avec foyer de 1,50 m de diamètre et, à la même époque, les chaudières à foyer ovale dont il vient d'être question; il cite également des chaudières faites par lui ayant 2,40 m de diamètre et 12 m de longueur



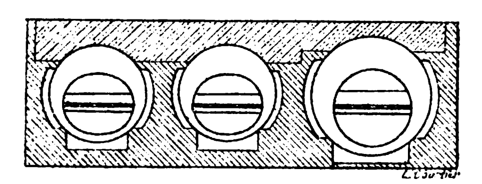


Fig. 24. — Chaudières de Trevithick (1815).

avec deux gros tubes foyers intérieurs, mais avec la particularité que, dans l'un, la grille était à une extrémité de la chaudière et, dans l'autre, à l'autre extrémité, le retour des gaz se faisait à l'extérieur par des carneaux en briques.

La célèbre chaudière de Cornouailles n'est autre chose que la chaudière à carneau intérieur de Trevithick; elle a seulement été soumise plus tard par les Ingénieurs du pays à un régime spécial de fonctionnement qui lui a permis de donner des résultats très remarquables. Ce régime était basé sur une combustion et une vaporisation très lentes que permettaient les proportions très considérables de la surface de chauffe et de la surface de grille. Rien ne peut faire mieux comprendre l'exagération — ce terme n'étant pas prix dans un mauvais sens — de ces

proportions que la comparaison suivante entre les mêmes valeurs pour les chaudières à tombereau et les chaudières de Cornouailles.

Données.	Chaudières à tombereau.	Chaudières de Cornouailles.
—	—	—
Surface de grille	1	2
Surface de chauffe	15	60 à 70
Longueur du circuit de fumée	18 m	45 m
Résultats :		
Charbon dépensé par cheval-heure. .	4,50 kg	2,40 kg
— par heure et par mètre carré de grille.	50	15
Vapeur par kilogramme de charbon .	6	11

On peut, par contre, reprocher à ces chaudières, comme, du reste, à la plupart des générateurs à foyer intérieur, la trop faible capacité de ces foyers due au diamètre limité qu'on peut donner aux tubes carneaux.

On a cherché à remédier à cet inconvénient par la disposition de la chaudière dite de Butterley, du nom de la fabrique où ces chaudières furent d'abord faites, dès avant 1830, croyons-nous.

Cette disposition *(fig. 25)* consiste à prolonger la chaudière en

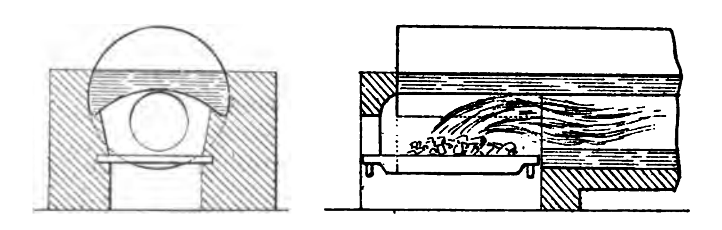


Fig. 25. — Chaudière de Butterley (1828).

avant par une partie ayant la section d'un croissant; le foyer est sous ce croissant et encadré par deux murs en briques; on a ainsi un générateur à foyer extérieur d'aussi grandes dimensions qu'on peut le désirer, mais avec un ciel chauffé. On a remplacé quelquefois le carneau par un faisceau tubulaire. Ce système a été repris il y a une cinquantaine d'années par des constructeurs du Nord de la France, mais il ne s'est jamais répandu. Les chaudières de Cornouailles fonctionnaient à des pressions de

3 1/2 à 4 kg. Elles ont été très employées, non seulement en Angleterre où elles sont toujours en usage, mais encore sur le continent, bien qu'en France on leur ait généralement préféré la chaudière à bouilleurs qui permet l'emploi de pressions plus élevées.

Dans les chaudières de Cornouailles, on a placé quelquefois, à l'intérieur du carneau, derrière l'autel, un bouilleur de 0,40 m environ de diamètre se prolongeant jusqu'en dehors du carneau; à cette extrémité est disposé un tube reliant ce bouilleur à la chaudière et, à l'autre extrémité, on établit une communication pour l'eau entre le dessous du bouilleur et la partie inférieure de la chaudière; la circulation est ainsi assurée; cette disposition, qui permet d'augmenter un peu la surface de chauffe, est représentée figure 111 dans la partie consacrée aux chaudières de bateaux.

Nous devons signaler ici un défaut grave dans lequel on est tombé fréquemment à l'origine dans la construction de ces chaudières, et que ne présentaient pas les chaudières à tombereau; ce défaut consistait à établir le carneau intérieur avec son axe, coïncidant ou à peu près avec celui de l'enveloppe, de sorte que l'épaisseur de la couche d'eau étant sensiblement la même tout autour, la chambre de vapeur et la surface d'émersion de la vapeur étaient alors réduites d'une façon très fâcheuse pour le fonctionnement de la chaudière. Cette disposition vicieuse a été la cause de beaucoup d'accidents par la formation de poches de vapeur amenant le surchauffage des tôles du foyer.

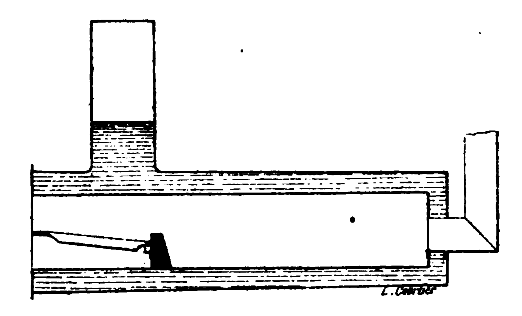


Fig. 26. — Chaudière d'une locomobile par Maudslay (1819).

Nous ne croyons pas que ce défaut ait jamais été mis en évidence d'une manière plus nette que dans la chaudière d'une machine locomobile construite vers 1819 par les ateliers Maudslay, à Londres, pour le port de Lorient, chaudière représentée par la figure 26.

On voit que le niveau d'eau est entièrement établi dans le dôme à une assez grande hauteur au-dessus du foyer. Le calcul

indique que 1 m² de surface d'émersion doit suffire à la vapeur produite par 34 m² de surface de chauffe, la vapeur étant produite à une pression probablement pas supérieure à 3 kg, alors qu'actuellement la même surface d'émersion ne correspond dans les chaudières de locomotives fonctionnant à 12 à 14 kg qu'à 12 à 15 m² de surface de chauffe. La disposition si vicieuse que nous venons de signaler est précisément celle de la chaudière du *Victoria*, dont il est question dans la note B à la fin de cet ouvrage.

La chaudière Lancashire *(fig. 27)*, qu'on attribue à Fairbairn, date de 1840 à peu près; elle contient deux foyers circulaires placés à l'intérieur l'un à côté de l'autre. En voici un exemple : diamètre, 2,75 m; longueur, 6,10 m; épaisseur de la tôle de l'enveloppe, 9 mm; deux foyers de 1,01 m de diamètre en tôle de 10,5 mm d'épaisseur, écartés de 0,33 m l'un de l'autre; cette distance est nécessaire pour permettre la visite et le nettoyage. Les fonds plats sont reliés à l'enveloppe par des goussets en tôle ou des tirants obliques. Une chaudière semblable est établie pour travailler à 1 1/2 kg de pression effective. La chaudière dont nous venons d'indiquer les dimensions peut fournir de la vapeur à une machine développant 195 ch indiqués.

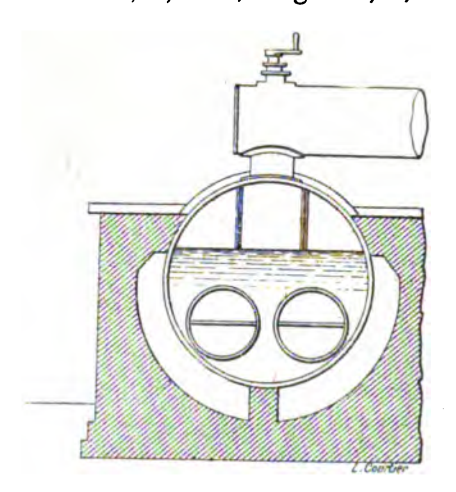


Fig. 27. — Chaudière type Lancashire (1840).

On a été jusqu'à 3,05 m de diamètre et même, dit-on, 3,66 m avec une longueur de 7,25 m. Avec addition de tirants longitudinaux de 50 × 30 de section et des tubes de Lowmoor, on peut faire travailler sans danger une chaudière de ce genre à des pressions de 2,10 kg effectifs.

On a plus tard cerclé les tubes carneaux avec des anneaux en fer à T portant par intervalles réguliers au moyen de cales sur la périphérie pour les consolider, et on a ensuite introduit l'usage des foyers ondulés dont nous parlerons plus loin. On sait que MM. Galloway, de Manchester, ont eu l'idée heureuse de consolider ces carneaux par des tubes coniques servant d'entretoises

facilitant la circulation de l'eau et donnant une surface de chauffe additionnelle importante *(fig. 28)*. Il est intéressant d'indiquer que ces tubes figurent déjà sur un dessin de chaudière marine à carneaux où ils sont employés dans le même but, dessin donné dans un vieil ouvrage : *Essais sur les bateaux à vapeur*, par Tourasse et Mellet, Paris 1828-1829. Le texte ne contient

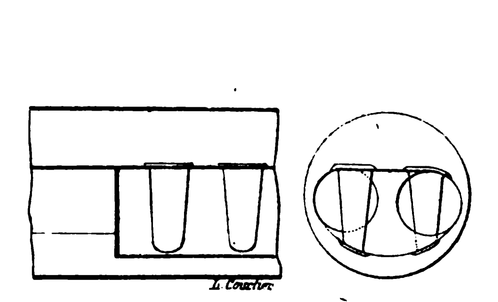


Fig. 28. — Chaudière Galloway (1840).

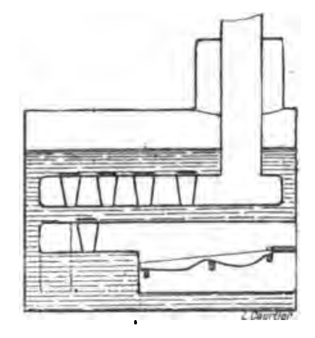


Fig. 29. — Ancienne chaudière de bateau à tubes coniques (1825).

aucun détail, il est seulement indiqué qu'il s'agit d'une chaudière de bateau à vapeur anglais d'environ 100 ch. Ce dessin est reproduit figure 29.

Les applications les plus nombreuses et les plus importantes des chaudières à foyers intérieurs ont été faites dans la navigation ; nous en parlerons à propos des générateurs employés sur les bateaux.

Il nous paraît intéressant, pour terminer cette partie, de donner un document dû à Longridge, de Manchester, sur la répartition des systèmes de chaudières fixes dans les districts manufacturiers du Lancashire et du Yorkshire en 1859. Le nombre total de ces chaudières s'élevant à un peu plus de 1 600, on trouvait les proportions suivantes :

Chaudières en tombereau.	0,4 0/0
Chaudières de Butterley	2,6
Chaudières cylindriques sans carneaux intérieurs.	6
Chaudières cylindriques avec carneaux intérieurs.	75
Chaudières à carneaux multiples.	2
Chaudières Galloway	6,5
Chaudières tubulaires.	7,5
	100,0

On voit qu'à cette époque les chaudières type Cornouailles et Lancashire, inscrites en quatrième ligne, formaient les trois quarts de l'effectif et que les chaudières à tombereau avaient presque entièrement disparu.

Nous croyons devoir donner, à titre de comparaison, le relevé remontant à la même époque (1858) des systèmes de chaudières d'un district industriel français, le département du Haut-Rhin, d'après des renseignements donnés dans le *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse.*

Sur 533 chaudières fixes, il y en avait :

Chaudières en tombereau.	3	soit	0,4 0/0
— cylindriques sans bouilleur. .	16	—	3
— — à 1 — . .	9	—	1,7
— — à 2 — . .	247	—	46,3
— — à 3 — . .	137	—	25,7
— — à plus de 3 bouilleurs	72	—	13,5
— tubulaires locomobiles. . . .	8	—	1,6
— système Beslay	1	—	0,2
— à foyer intérieur	4	—	0,8
— verticales.	12	—	2,3
— systèmes divers.	24	—	4,5
	533		100,0

On voit, par ce tableau, qu'à cette époque c'était la chaudière à bouilleurs qui dominait, puisque ce système, avec divers nombres de bouilleurs, représentait 87 0/0 du total, et le type courant à deux bouilleurs 46,3, soit près de la moitié. Cette proportion paraît bien être, à peu de choses près, celle de la France en général à cette époque. Il s'est produit, depuis, une modification par suite de l'introduction de plus en plus fréquente des chaudières à tubes de fumée d'abord et à tubes d'eau ensuite.

Ajoutons que sur les 533 chaudières du Haut-Rhin, 31 ou 6 0/0 seulement étaient munies de réchauffeurs d'eau d'alimentation.

Chapitre IV.

Chaudières à tubes d'eau (1).

L'emploi de chaudières formées en tout ou partie de tubes de faible diamètre a dû être inspiré par le besoin d'avoir des chaudières plus résistantes à la pression de la vapeur ou d'une légèreté permettant le déplacement facile des appareils et même par ces deux considérations réunies. Il est cependant curieux que le premier exemple connu des chaudières formées de cylindres d'assez faible diamètre pour être considérés comme des tubes ne puisse être regardé comme inspiré par l'une au moins de ces deux idées. Il s'agit du générateur décrit, en 1766, par Blakey dans une patente pour des perfectionnements dans le système de Savery pour l'élévation de l'eau ; il y avait trois tubes reliés par des coudes plus petits. On ne sait rien sur cette chaudière dont le dessin donné dans divers ouvrages *(fig. 30)* est très incomplet ; toutefois, un passage de l'ouvrage de Galloway, *History and Progress of the Steam Engine*, indique, sous l'autorité de Hornblower, que l'essai de la chaudière d'expérience se termina par l'explosion d'un des tubes sous une pression très inférieure à celle qu'on se proposait d'employer. En tout cas, la disposition de ces tubes dans un foyer massif en briques ne donne aucun caractère portatif à l'appareil, qui paraît destiné à l'objet unique, en vue à cette époque pour la machine à vapeur, l'élévation de l'eau.

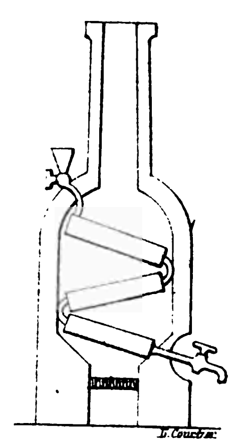


Fig. 30. — Chaudière de Blakey (1766).

Thurston, dans son ouvrage *Growth of the Steam Engine*, donne le dessin d'une chaudière dite *pipe boiler*, ou chaudière à tube adoptée par Fitch pour son bateau construit en 1787. Ce générateur consistait en un tuyau replié sur lui-même et placé dans

(1) Nous avions d'abord pensé à examiner séparément les chaudières à gros tubes et les chaudières à petits tubes, mais, après examen, il nous a paru préférable de réunir ces deux catégories en suivant l'ordre chronologique.

un foyer en briques. L'eau d'alimentation arrivait à une extrémité et la vapeur sortait par l'autre. Il paraît s'être élevé une contestation entre Fitch et un autre inventeur, Ramsey, qui avait fait quelques essais antérieurs et qui réclamait la priorité de l'idée de cette chaudière; la contestation se serait terminée en faveur de Fitch. Celui-ci prit plus tard, 29 novembre 1791, un brevet en France pour un mécanisme propre à faire avancer des bateaux par l'action d'une machine à vapeur, mais, dans ce brevet, il n'est rien dit de la chaudière.

Thurston indique qu'à la date du 16 août 1791, Nathan Read patenta une chaudière à tubes d'eau sous le nom de Portable Furnace Boiler, constituée par une enveloppe cylindrique formant foyer intérieur et des tubes verticaux de petit diamètre contenant de l'eau *(fig. 31)*. Les tubes du centre sont fermés à leur extrémité et plongent dans le foyer, tandis que les tubes de la périphérie relient deux capacités pleines d'eau. L'auteur américain dit que Read ne réussit pas dans ses essais, ce qui paraît très explicable. car il est certain que des tubes de petit diamètre fermés par le bas, plongés dans un feu violent, se videraient d'eau instantanément et brûleraient tout de suite. Thurston ajoute que, malgré cet échec, on doit considérer Read comme l'inventeur de la chaudière multitubulaire verticale.

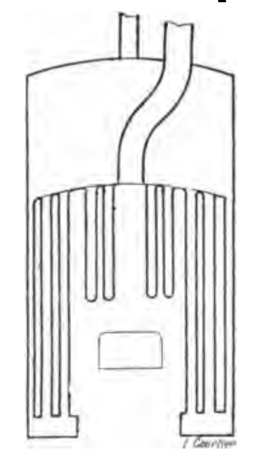


Fig. 31. — Chaudière de Read (1791).

Le deuxième volume de la *Description des machines et procédés spécifiés dans les brevets d'invention, etc.*, donne, à la page 252 et la planche 58 un brevet d'importation portant le numéro 145, la date du 24 août 1793 et le titre : « Pour des appareils dits *fourneaux à chaudières* et pour un moyen propre à faire mouvoir les bateaux par la vapeur délivré au sieur Barlow, des États-Unis. »

La description débute par cette phrase suggestive : « L'objet de ces appareils est de présenter à l'action du feu la plus grande étendue de surface possible. Pour cela on fait passer l'eau dans des tuyaux ou cylindres et ceux-ci dans le foyer même; on le peut encore en faisant passer la flamme du foyer à travers de petits tuyaux répandus dans l'eau à chauffer. »

Sur la planche 58 est représentée une chaudière *(fig. 32)*, en forme de parallélipipède où le foyer est formé par une double

paroi pleine d'eau; deux côtés opposés de cette enceinte sont réunis par une quantité de tubes horizontaux contenant de l'eau et placés au-dessus de la grille.

Dans la phrase que nous avons citée plus haut, est contenu, de la façon la plus nette et la plus explicite, le principe des deux systèmes de chaudières tubulaires, l'un à tubes d'eau, l'autre à tubes à fumée, et il est certainement curieux de voir ces deux systèmes de générateurs proposés dès 1793 pour la navigation à vapeur dans laquelle ils trouvent aujourd'hui les applications les plus étendues et les plus importantes.

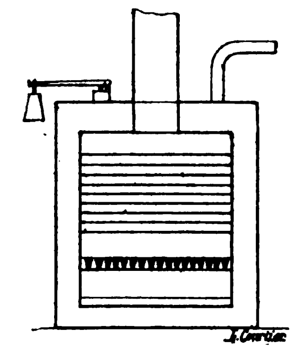


Fig. 32. — Chaudière de Barlow (1793).

Disons tout de suite que la propulsion des bateaux qui fait également l'objet de ce brevet ne présente pas d'intérêt; elle est basée sur le principe du refoulement de l'eau déjà proposé plus d'une fois et d'abord par Bernouilli.

Thurston, dans l'ouvrage déjà cité, donne le dessin de la chaudière à tubes d'eau de Barlow et dit que le bateau construit à Paris par Fulton et essayé le 9 août 1803 en présence d'un comité de l'Institut, portait cette chaudière qui, d'après lui, serait encore au Conservatoire des Arts et Métiers, où elle est connue sous le nom de chaudière de Barlow. L'auteur américain ajoute que Barlow patenta ce modèle en France dès 1793 comme chaudière de bateau, en indiquant que le but de cette disposition est d'obtenir la plus grande surface de chauffe possible sous un volume réduit. Nous n'avons pu trouver au Conservatoire aucune trace de l'existence de cette chaudière.

Nous reviendrons sur la question du brevet de Barlow à l'occasion des chaudières à tubes de fumée pour lesquelles il présente un très grand intérêt au point de vue historique.

Vient ici, par ordre chronologique, la chaudière de Dallery, décrite dans un brevet en date du 29 mars 1803 pour un vaisseau insubmersible et une voiture mue par une pompe à feu. La partie de la description qui se rapporte à la chaudière est conçue de la manière suivante : « 12° On augmente la force à volonté par la division de la chaudière; on sait qu'en multipliant les surfaces on fournit à l'action du feu plus de points en contact; l'application de ce principe à la disposition des fourneaux a

dû *(sic)* obtenir une quantité supérieure aux résultats de tous les procédés connus; aussi, au lieu d'un nombre déterminé d'impulsions s'en procure-t-on un nombre presque indéfini;

» 13° Le nombre des fourneaux est de six, chacun desquels a douze corps cylindriques en cuivre qui contiennent l'eau à réduire en vapeur; ces corps sont placés perpendiculairement à côté l'un de l'autre; ils décrivent une ligne circulaire qui permet de mettre le feu au centre, d'où il peut embrasser toutes les surfaces;

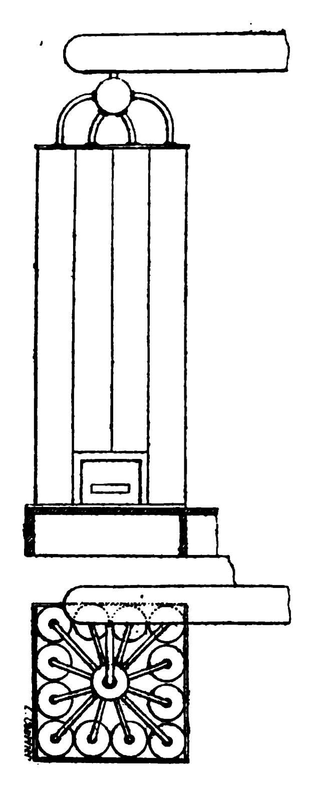


Fig. 33. — Chaudières à bouilleurs verticaux de Dallery (1803).

» 14° L'enveloppe de chaque fourneau est faite en fer battu et garnie en dedans de terre cuite; elle a 3 pieds de haut sur 18 pouces de diamètre;

» 15° Chaque corps cylindrique, contenant l'eau à réduire en vapeur, a 2 pieds et demi de haut sur 4 pouces de diamètre;

» 16° Le produit de l'ébullition parvient, au moyen d'un conducteur pour chaque chaudière, à un *réservoir commun*, auquel est adapté un autre conducteur, en forme de T renversé, qui porte la vapeur, à travers diverses soupapes, aux extrémités supérieure et inférieure du cylindre de la pompe. »

La figure 33 représente un des six éléments de la chaudière.

Le brevet de Dallery ne figure dans le volume II de la publication des brevets que par son titre et sa date. On doit donc supposer qu'aux yeux de ceux qui étaient chargés de cette publication il rentrait dans la catégorie des brevets « dont l'objet est *une conception chimérique que l'expérience a jugée ou une chose que tout le monde connaît* ou *que personne aujourd'hui n'aurait envie de connaître* ».

C'est un exemple frappant de l'arbitraire qui régnait dans le choix des brevets publiés. Le brevet dont nous nous occupons n'a été publié que dans le volume LIV, paru en 1845, à la suite

de réclamations des héritiers de Dallery, l'Administration ayant donné comme excuse de la non-publication à l'origine que les dessins du brevet n'avaient pas été fournis par l'inventeur en temps utile, puis (cette explication ayant été reconnue inexacte) que ces dessins avaient été égarés.

La chaudière de Dallery mérite d'être mentionnée comme chaudière à tubes d'eau à une place honorable, bien qu'il ne faille pas se faire illusion sur le succès auquel elle était appelée ; en l'absence de dispositif spécial d'alimentation, la circulation de l'eau dans des tubes verticaux de 0,10 m de diamètre seulement était fort problématique.

En tous cas, on a cherché à donner à Dallery une place tout à fait exagérée en le présentant comme l'inventeur de la *chaudière tubulaire* ; nous reviendrons sur cette question en traitant des chaudières à tubes à fumée.

En 1804, John Stevens qui s'occupait de navigation à vapeur aux États-Unis, pendant que Fulton était encore en Europe, construisit un bateau d'une vingtaine de mètres de longueur, actionné par deux hélices. Le moteur à haute pression recevait la vapeur d'une chaudière à tubes, disposée comme suit *(fig. 34)*. D'une capacité centrale à deux faces légèrement inclinées partaient à l'opposé des tubes, cinquante de chaque côté, de 45 mm de diamètre et 0,55 m de longueur, perpendiculaires aux plaques auxquelles ils étaient fixés et, par conséquent, un peu inclinés. Le tout était plongé dans la flamme d'un fourneau. Ce générateur fonctionnait, dit-on, à une pression de 3,5 kg.

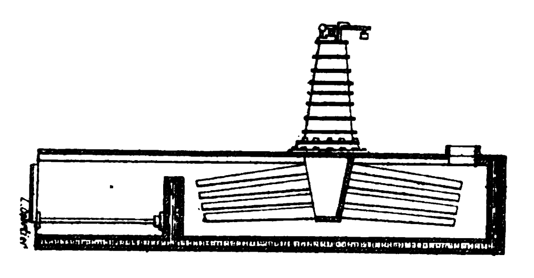


Fig. 34. — Chaudière de John Stevens (1804).

Il est douteux que cet arrangement, qu'on retrouve en principe dans certaines chaudières modernes, dites chaudières *en hérisson*, puisse permettre une circulation satisfaisante et les tubes devaient se brûler rapidement.

D'après Thurston, le modèle de ce bateau et celui de son appareil moteur existent encore aujourd'hui à l'Institut Stevens de Technologie.

Pour assurer, au moins dans une certaine mesure, la circu-

lation dans des tubes disposés comme dans la chaudière de John Stevens, Harrisson a employé, plus récemment (1850), la disposition représentée figure 35. On voit que le tube a deux orifices qui le mettent en communication avec la lame d'eau; l'eau arrive par l'ouverture inférieure, tandis que la vapeur sort par l'ouverture supérieure.

Thurston rapporte que John Cox Stevens, fils de John Stevens, dont il vient d'être question, patenta, en Angleterre, en 1805, une chaudière à tubes d'eau, constituée par deux plaques en bronze de 1 pied carré environ chacune, percés d'un grand nombre de trous dans lesquels s'emmanchaient des tubes en cuivre de 25 mm de diamètre et 0,305 m de longueur.

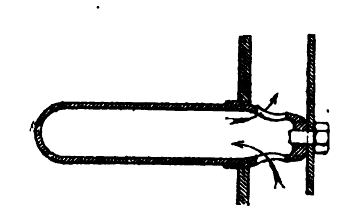


Fig. 35. — Tube à eau d'Harrisson (1850).

Des coquilles en fonte étaient fixées par des vis sur les plaques et laissaient un vide intérieur de 50 mm environ. Chacune de ces coquilles portait un tube dont l'un servait à amener l'eau d'alimentation, l'autre à la sortie de la vapeur. L'appareil était placé dans un fourneau en brique.

A cette époque se rapporte la chaudière de l'Américain Thompson, plus connu sous le nom de comte de Rumford. chaudière présentée par lui à l'Institut de France, en 1806, et qu'on peut considérer comme le point de départ des générateurs à tubes pendants. L'appareil, destiné au chauffage des habitations par la vapeur, se composait d'une sorte de tambour à base circulaire en cuivre, de 0,30 m environ de diamètre dans la base inférieure duquel étaient ajustés sept tubes de cuivre, de 75 mm de diamètre et 0,23 m de longueur, fermés à la partie inférieure et plongeant dans un foyer. Tredgold, en mentionnant cette chaudière, fait observer avec raison que les tubes ne doivent pas être de trop faible diamètre par rapport à leur longueur, afin qu'il puisse se produire à l'intérieur deux courants, l'un ascendant, l'autre descendant; il y a là la première indication de la circulation de l'eau dont les inventeurs ne paraissaient pas s'être préoccupés pour leurs appareils.

Julius Griffith construisit, en 1821, une voiture à vapeur dont la chaudière était formée de tubes coudés en fer à cheval dans un plan vertical et placés les uns à côté des autres; les extrémités de ces tubes s'implantaient dans la paroi verticale for-

mant une des faces d'une lame d'eau bordant le foyer qui chauffait les tubes. Les branches supérieures de ceux-ci formant réservoir de vapeur étaient baignées dans le courant de gaz allant à la cheminée, de sorte que la vapeur y obtenait, disent les descriptions de l'époque, un supplément de force élastique, ce qui semble indiquer l'action d'un surchauffeur (voir *Economy of Steam Power on common roads*, par C. F. Young. Londres, 1860, page 179). La patente anglaise de Griffith est du 30 décembre 1821.

On trouve ensuite peu de chose sur les chaudières à tubes d'eau, jusqu'en 1825, où un Américain, établi en Angleterre, Joseph Eve, patenta une chaudière présentant des dispositions très intéressantes dont plusieurs sont encore utilisées aujourd'hui.

Le générateur dont il s'agit *(fig. 36)* est constitué essentiellement par des tubes verticaux de faible diamètre légèrement cintrés pour parer aux effets de la dilatation et reliant des collecteurs inférieurs et supérieurs, la combinaison de tubes verticaux et de deux collecteurs formant un élément; dix de ces éléments, par exemple, sont disposés entre deux réservoirs cylindriques en deux pièces pour permettre l'assemblage. Les réservoirs supérieur et inférieur sont réunis, en dehors du foyer, par de gros tubes de retour d'eau, pour en assurer la circulation. Ce qu'il y a, en effet, de très remarquable dans ce système, c'est le soin avec lequel l'inventeur a cherché à effectuer la circulation de l'eau dans l'ensemble, chose dont ses prédécesseurs ne paraissaient pas s'être inquiétés.

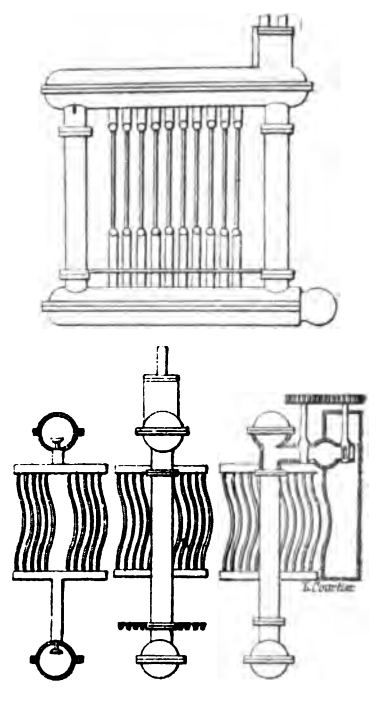


Fig. 36. — Chaudière Eve (1825).

Eve dit que la forme ondulée qu'il donne à ses tubes a pour objet de permettre à la vapeur de monter plus rapidement que l'eau. Les tubes de retour auraient, d'après la patente, de 0,25 m à 0,30 m de diamètre, les tubes horizontaux 0,25 m et les tubes verticaux 25 mm.

Un point à signaler est l'existence de clapets de sûreté, placés au débouché des tubes verticaux, dans les réservoirs horizontaux et destinés à prévenir les conséquences de la rupture d'un ou plusieurs des petits tubes verticaux. Cette disposition a été tout récemment proposée comme nouvelle. Un autre point intéressant est l'emploi d'un appareil alimentaire, formé d'une sphère creuse et de deux robinets, analogue à un robinet graisseur de cylindres; ces robinets sont conjugués par des roues dentées, de manière que, si l'un s'ouvre, l'autre se ferme et inversement. Cet appareil, combiné avec un réservoir d'eau à niveau constant, forme en même temps régulateur automatique d'alimentation. Ce système contient le principe de dispositions employées de nos jours et est intéressant à ce point de vue.

A partir de cette époque, on voit quantité de dispositions de chaudières à tubes d'eau proposées ou même essayées; on peut attribuer ce fait, au moins en partie, au développement des voitures à vapeur.

En 1826, Goldsworthy Gurney, médecin par profession, chimiste

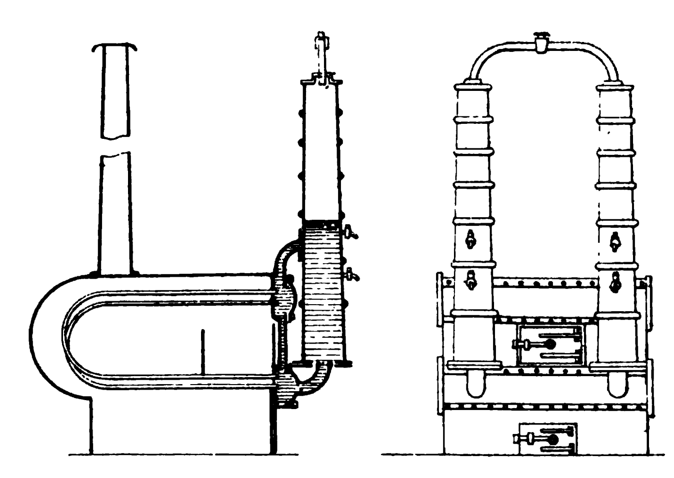


FIG. 37. — Chaudière de Gurney (1826).

distingué (1) et mécanicien par vocation, qu'on doit considérer comme un des pionniers de ce qu'on appellerait aujourd'hui l'automobilisme, présenta un système de générateur basé sur les mêmes principes que le précédent, mais d'une disposition beaucoup plus pratique.

(1) Quelques auteurs attribuent à Gurney l'invention de la lumière oxyhydrique à la chaux, connue sous le nom de lumière de Drummond.

Ce générateur (*fig. 37*) se composait de tubes de faible diamètre cintrés en forme d'U et placés, avec les branches dans un plan vertical, les uns à côté des autres dans un foyer. Ces tubes, dont les branches inférieures formaient la grille, s'emmanchaient dans des collecteurs reliés entre eux par un tube vertical et communiquant avec un gros réservoir cylindrique vertical contenant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur. Le foyer était contenu dans une enveloppe en tôle garnie de terre réfractaire. Ces chaudières paraissent avoir donné de bons résultats et furent surtout employées sur les voitures à vapeur établies par l'inventeur et qui firent, en plusieurs endroits, un service régulier et prolongé.

La même année, 1826, fut pris, en France, à la date du 9 dé-

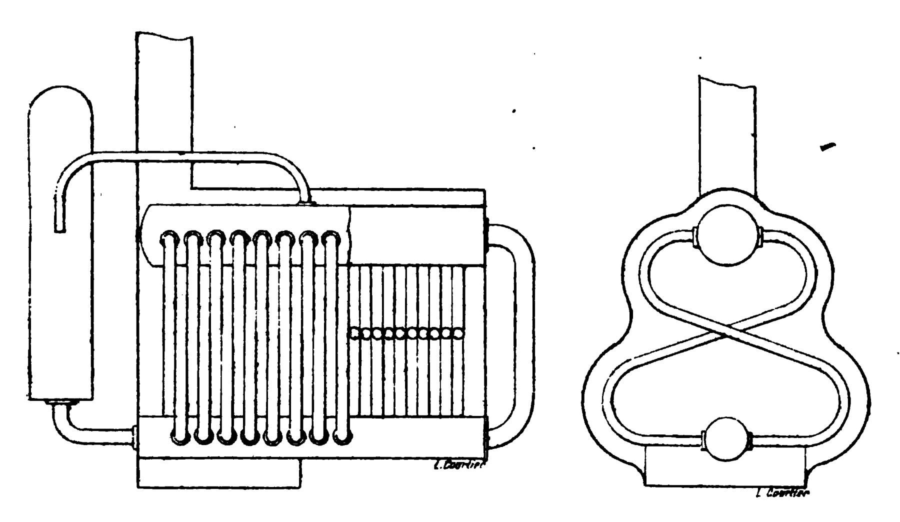


Fig. 38. — Chaudière Gurney (1826).

cembre, un brevet, au nom d'Antoine Perpigna; ce brevet, des plus intéressants, décrit d'abord une chaudière à petits tubes cintrés et croisés (*fig. 38*) aboutissant, à la partie supérieure, à un gros réservoir cylindrique horizontal et à la partie inférieure à un réservoir semblable, de chaque côté duquel se trouve la grille formée par les branches horizontales et inférieures des tubes; ceux-ci sont contenus dans une enveloppe en tôle garnie de terre réfractaire.

Une variante (*fig. 39*) représente une chaudière formée de tubes également cintrés, mais placés en long, et reliés à leur

partie supérieure et à leur partie inférieure à des collecteurs. Dans les deux chaudières, la circulation est assurée par des tubes de retour d'eau ou des réservoirs placés à l'extérieur du foyer. Ces générateurs, surtout le premier, présentent une analogie frappante avec les chaudières récentes à tubes d'eau de faible diamètre employées dans la marine et principalement sur les torpilleurs.

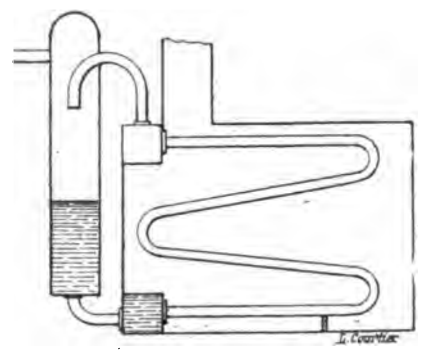


Fig. 39. — Chaudière Gurney (1826).

Perpigna était avocat et agent de brevets; ce fut même, croyons-nous, le fondateur de cette profession (1); il n'était nullement technicien: on ne saurait donc le regarder comme l'auteur de cette chaudière, qui est évidemment d'origine anglaise. Une mention contenue dans la description d'un brevet ultérieur d'importation pour la chaudière Gurney, décrite précédemment, brevet du 8 mai 1828, au nom de W. Keene, permet d'attribuer au même Gurney la paternité du brevet pris au nom de Perpigna.

Il fut, en effet, pris en France, en dehors du brevet Perpigna, deux brevets d'importation pour la chaudière Gurney, l'un en date du 24 février 1828, au nom de Portal et Cie, à Bordeaux, pour les applications à la navigation, et l'autre au nom de Keene, le 8 mars de la même année, pour les voitures à vapeur. Nous verrons, dans une autre partie, que ces chaudières furent appliquées, vers 1830, à des bateaux de la Garonne.

Les frères Portal, dont il vient d'être question, prirent, à la date du 17 décembre 1829, un brevet d'invention pour une chaudière de terre ou de rivière formée de tubes inclinés et reliés à des collecteurs *(fig. 40)*, l'un pour la vapeur, l'autre pour l'eau d'alimentation. C'est la disposition générale de la chaudière Babcock et Wilcox. Un point à signaler est que les inventeurs indiquent l'emploi de l'amiante pour les joints des tubes avec les collecteurs. Nous reparlerons de ce système à l'occasion des chaudières de navigation.

(1) C'est à un don de Mme veuve Perpigna, fait en 1874, que la bibliothèque de notre Société doit les soixante premiers volumes des *Brevets d'invention* et les cinquante-sept premiers du *Bulletin de la Société d'Encouragement*. Nous sommes heureux de le rappeler ici.

Ogle et Summers firent usage, en 1830, sur une voiture à vapeur, d'une chaudière de forme originale *(fig. 41)*, formée de tubes concentriques laissant un espace annulaire contenant l'eau, qui se trouvait chauffée par l'intérieur et par l'extérieur; ce générateur était ainsi, à la fois, à tubes à fumée et à tubes d'eau.

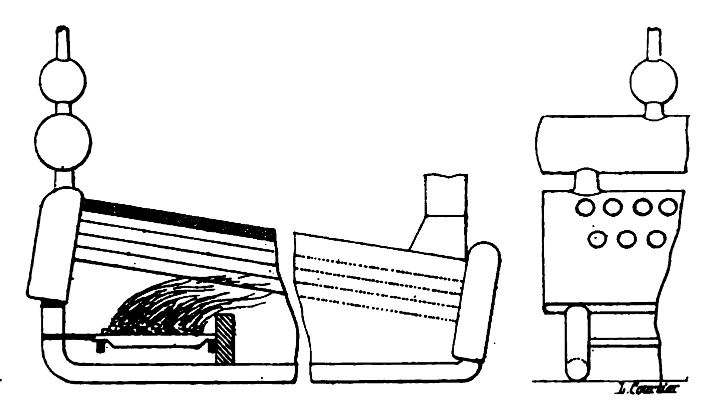


Fig. 40. — Chaudière Portal (1829).

Un brevet du 23 avril 1830, de Duvergier et Bordèze, à Paris, présente une disposition analogue à celle de la figure 40 de tubes compris entre deux boîtes communiquant l'une avec le tuyau de vapeur, l'autre avec celui d'alimentation *(fig. 42)*. Les tubes ont 8 à 9 cm de diamètre et de 1,50 à 4 m de longueur.

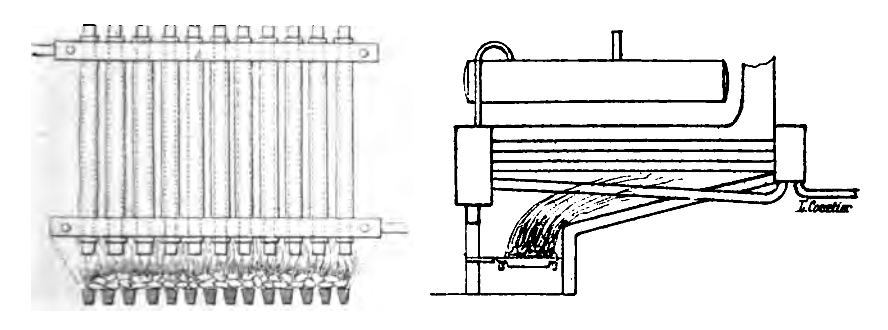


Fig. 41. — Chaudière pour voiture à vapeur Ogle et Summers (1830).

Fig. 42. — Chaudière Duvergier et Bordèze (1830).

Les inventeurs proposent d'employer ces générateurs pour des bateaux et pour des voitures à vapeur.

On trouve, dans la même période, deux systèmes de générateurs qui méritent d'être signalés et où les tubes jouent un rôle

moins important que les précédents étant combinés avec des capacités cylindriques ou cubiques de grand volume. Le premier *(fig. 43)* est celui de Steenstrup, de Londres, et date de 1828; on voit que le foyer intérieur contient des tubes verticaux reliant les capacités supérieure et inférieure de la chaudière. Nous ne savons si ce dispositif a été exécuté; mais, qu'il

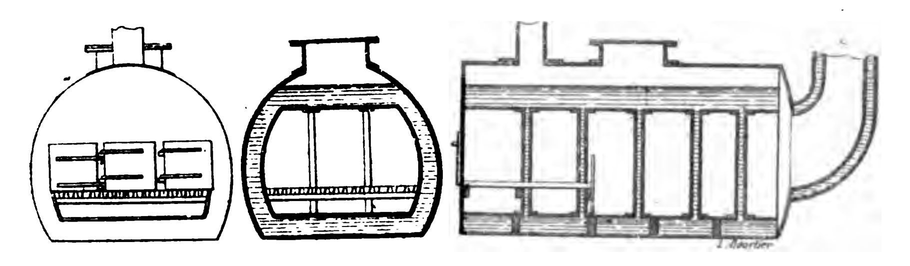


Fig. 43. — Chaudière de Steenstrup (1828).

l'eût été ou non, il contient le principe des chaudières Montgomery et Martin, si employées il y a cinquante ans, dans la marine américaine; au lieu de dix tubes, il n'y a qu'à en mettre plusieurs centaines en les serrant d'une manière suffisante.

La seconde chaudière est celle de Thomas Tippett, de Cornouailles; dans celle-ci *(fig. 44)*, les tubes d'eau sont extérieurs

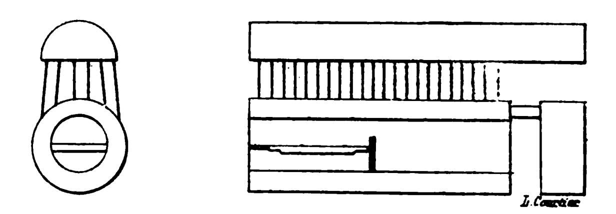


Fig. 44. — Chaudière de Tippett (1830).

et relient les deux parties de la chaudière qui a un foyer intérieur : c'est une modification de la chaudière de Trevithick; on remarquera l'addition d'une petite chaudière supplémentaire très courte, formant le fond du carneau et qui paraissait devoir jouer le rôle de réchauffeur d'eau d'alimentation.

Nous pouvons encore indiquer *(fig. 45)* une disposition originale de tubes cintrés contenant de l'eau, employée en 1832, sur des voitures à vapeur, par Church, un des pionniers de l'automobilisme.

Un brevet à signaler, parce que la disposition qu'il décrit a été fréquemment employée depuis et l'est encore aujourd'hui, est celui qui a été délivré à la date du 20 décembre 1831, à Honyan, manufacturier à Angers, pour une chaudière verticale à tubes horizontaux. Le dessin (*fig. 46*) indique un corps cylindrique vertical de 2,20 m de diamètre sur 3 m de hauteur, contenant un foyer intérieur surmonté d'une caisse rectangulaire dont deux des parois opposées sont réunies par cinquante tubes de 0,10 m de diamètre et 0,75 m de longueur qui, ainsi que l'enveloppe du foyer et de la caisse rectangulaire

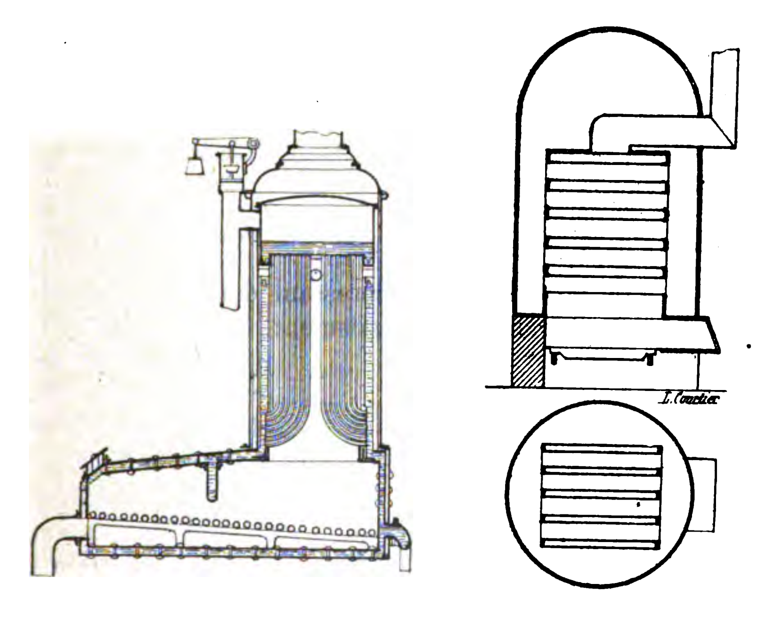


Fig. 45. — Chaudière Church (1832). Fig. 46. — Chaudière d'Honyan (1831).

contiennent de l'eau. Ce système, qui dérive, en principe, de celui de Barlow, fut, un peu plus tard, repris, avec une modification intéressante consistant à incliner les tubes, par Spiller, dont on trouve un brevet d'importation en date du 13 avril 1836 (*fig. 47*) et qui en fit l'application sur de petits bateaux de la Tamise, pourvus de machines à haute pression et, paraît-il, à double expansion. La chaudière Rowan, plus récente, est fondée aussi sur le même principe; des générateurs portatifs de ce système ont les tubes disposés dans deux sens perpendiculaires l'un à l'autre (*fig. 48*).

Trevithick patenta en 1832 un système formé de tubes verticaux réunis les uns aux autres par des coudes et placés dans un

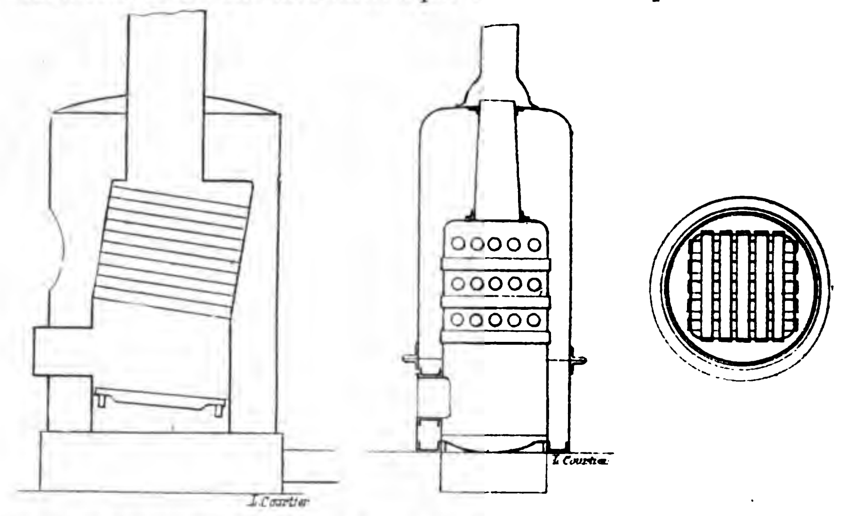


Fig. 47. — Chaudière de Spiller (1838). Fig. 48. — Chaudière Rowan (1860).

foyer; ce qu'il y a de plus intéressant dans cette patente est l'addition d'un surchauffeur également formé de tubes; nous reviendrons sur ce sujet en parlant de la surchauffe.

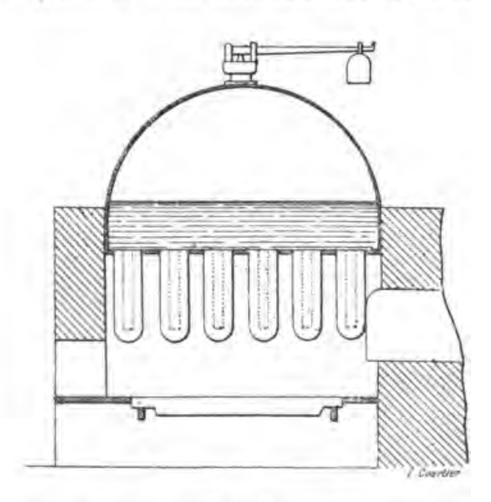


Fig. 49. — Chaudière de Saint-George (1833).

On trouve, à la date du 24 avril 1833, un brevet d'importation au nom de Saint-George, de Londres, pour des appareils de chauffage par l'eau bouillante, brevet dans lequel l'inventeur décrit une chaudière (*fig. 49*) hémisphérique par le haut et plane par le bas et dans le fond de laquelle s'emmanchent des tubes verticaux fermés à la partie inférieure et contenant à l'intérieur un tube de faible diamètre. Voici les termes dans lesquels est indiqué l'objet de cette disposition :

« Le feu de la fournaise étant allumé, la chaleur frappera les surfaces extérieures des tubes et ainsi communiquera la chaleur à l'eau qui est en contact avec le métal; cette eau chauffée s'élèvera à la surface, tandis que le volume intérieur de l'eau contenue dans les tubes intérieurs descendra et continuera à remplir l'espace de la partie chauffée laquelle s'élèvera à la surface; de cette manière, on obtient une circulation si rapide de l'eau dans chacun des tubes que, quelque grand que soit le degré de chaleur, la circulation rapide entretiendra les tubes extérieurs à une température qui ne saurait détériorer le métal, ce qui n'aurait pas lieu sans l'existence des tubes intérieurs. »

C'est absolument là le tube Field, postérieur de près de trente ans, et dans lequel, comme on sait, il n'y avait de breveté que la disposition de l'embouchure appelée *déflecteur* par l'inventeur. On attribue la première idée du tube pendant avec tube intérieur, à Perkins, qui l'aurait indiquée en 1831. Le brevet de Saint-George, qui réalise une application de ces tubes, est, comme on voit, de très peu postérieur. Nous n'avons trouvé aucun brevet relatif à ces tubes en France au nom de Perkins; y aurait-il quelque relation entre l'invention attribuée à celui-ci et le brevet dont nous venons de parler?

Frimot, Ingénieur des Ponts et Chaussées, qui fut dès 1826 constructeur de machines à Landerneau, fit des générateurs à tubes d'eau, dont un fut appliqué, en 1833, sur l'aviso à vapeur l'*Ardent*. Les résultats de cet essai donnèrent lieu à des contestations dont l'écho vint jusqu'à la tribune de la Chambre des Députés où, dans la séance du 7 mai 1834, Arago défendant la chaudière de Frimot, attaqua le Ministère de la Marine avec sa vivacité accoutumée. Ses arguments nous paraissent aujourd'hui singulièrement faibles; du reste, si c'était un astronome éminent et un savant de premier ordre, c'était un praticien d'une valeur très contestable; l'expérience a prouvé que les chaudières à haute pression comme celle de Frimot ne pouvaient pas tenir longtemps à l'eau de mer, et que les succès du début, s'ils ont réellement existé, comme le disait Arago, devaient être sans lendemain.

Un peu plus tard, Beslay fit également des chaudières à bouilleurs pendants, avec deux tubes intérieurs, l'un pour l'arrivée de l'eau, l'autre pour l'évacuation de la vapeur *(fig. 50)*. Un de ces générateurs fut appliqué, en 1843, sur l'aviso de la marine française l'*Alecton* de 80 ch; les résultats ne furent pas heureux.

L'inventeur renonça au système des tubes pendants pour employer des chaudières formées d'espaces cylindriques annulaires

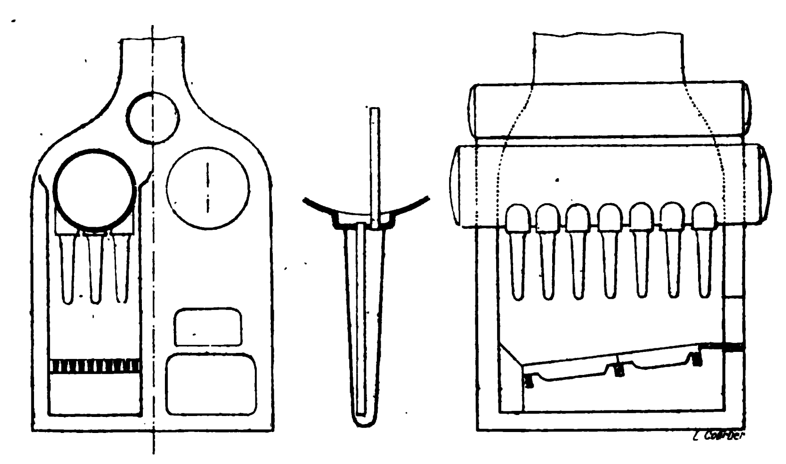


Fig. 50. — Chaudière de Beslay (1839).

plongés dans le foyer, communiquant ensemble et combinés avec des tubes à fumée (*fig. 51*); on essaya cette disposition, en 1846, sur l'aviso l'*Ardent* de 160 ch, sans obtenir de meilleurs

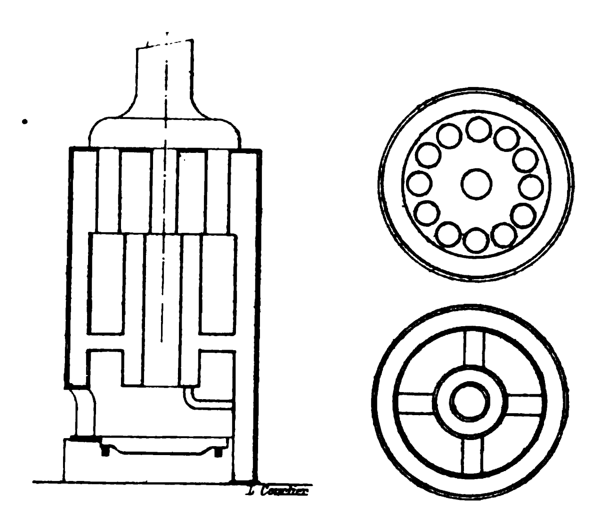


Fig. 51. — Chaudière annulaire de Beslay (1844).

résultats, et cela pour les raisons qui viennent d'être indiquées à propos du générateur Frimot.

Le brevet de Beslay pour les chaudières à tubes plongeants

est du 10 août 1839 et celui pour les chaudières annulaires du 4 décembre 1844. Nous devons dire que ces dernières ont reçu quelques applications dans l'industrie, vers 1848.

Frimot prit, à la date du 6 novembre 1840, un brevet pour un système de circulation d'eau dans les bouilleurs pendants, qu'il appelait tubes rayonnants, système qui présente une certaine analogie avec celui de Beslay.

Nous n'irons pas plus loin dans l'énumération des systèmes de chaudières à tubes d'eau qui ont pris un grand développement dans la dernière partie du siècle qui vient de s'achever. Néanmoins, nous ne saurions quitter ce sujet sans rappeler que c'est à la date du 28 août 1850 que remonte le premier brevet de Julien Belleville pour les chaudières à tubes d'eau. On sait avec quelle foi et quelle persévérance notre éminent collègue continua, malgré ses premiers insuccès et des difficultés de toute nature, ses efforts, jusqu'au succès qui couronna ses travaux. Belleville est certainement l'inventeur qui a le plus fait pour la création des générateurs légers et puissants qui trouvent aujourd'hui de si importantes applications dans les marines militaires. Nous avons pu lui rendre justice de son vivant et nous sommes heureux de pouvoir inscrire encore ici un hommage à sa mémoire.

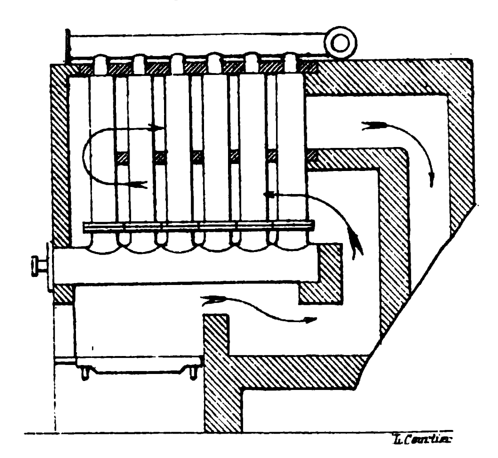


Fig. 52. — Chaudière à tubes d'eau de Howard (1855).

Nous devons cependant mentionner un générateur qui est la première chaudière à tubes d'eau qui ait eu un succès pratique réel. Il est dû à Howard, de Bedford (Angleterre), et remonte à 1855. Ce système (*fig.* 52) consiste en tubes verticaux emmanchés par le bas dans un tube horizontal qui en reçoit huit par exemple. Chacun de ces tubes est relié, à la partie supérieure, à un autre tube horizontal parallèle au premier. Cinq de ces éléments sont placés parallèlement dans un foyer; les tubes horizontaux sont en communication les uns avec un collecteur de vapeur, les

autres avec un tuyau amenant l'eau d'alimentation. Ces chaudières furent faites d'abord en fonte, puis ensuite en fer. L'inventeur les désignait sous le nom de *safety boilers*, chaudières de sûreté, parce qu'elles étaient composées de petits éléments qui pouvaient se briser isolément sans amener d'explosion de chaudière proprement dite. Les chaudières Howard ont été très répandues en Angleterre et en Amérique.

Il est juste, toutefois, de rappeler que ces générateurs présentaient une grande analogie avec un système breveté par Clavières, de Paris, à la date du 21 avril 1836, brevet dans lequel on peut signaler l'indication de l'emploi de l'amiante pour les joints, emploi déjà proposé, d'ailleurs, antérieurement, comme nous l'avons mentionné.

Il est bon de signaler encore, à propos des chaudières à tubes d'eau, des chaudières qui n'ont jamais été faites qu'exceptionnellement et qui se rapprochent beaucoup de celles-ci en ce que les lames d'eau qui les caractérisent peuvent être, jusqu'à un certain point, assimilées à de gros tubes aplatis.

La première chaudière de ce genre est celle que Walter Han-

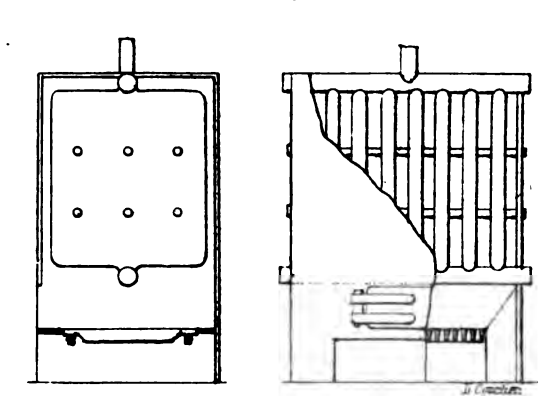


Fig. 53. — Chaudière à lames d'eau de Hancock.

cock employa en 1831 sur des voitures à vapeur. Il y avait, suspendues verticalement dans le foyer *(fig. 53)*, dix de ces lames formées de deux tôles écartées de 50 mm et assemblées par rivets avec des pièces cintrées formant les petits côtés des lames d'eau. L'intervalle entre ces lames était également de 50 mm; elles étaient entretoisées par des boulons et se raccordaient à la partie supérieure et inférieure à des tubes, l'un pour la vapeur, l'autre pour l'eau. La chaudière, ainsi constituée,

avait une surface de chauffe de 10 m² et travaillait à 7 kg de pression. Les résultats paraissent avoir été satisfaisants, bien que le nettoyage fût évidemment impossible.

A la date du 9 octobre 1833, Hallette, constructeur à Arras, prit avec W. Turner, un brevet pour une chaudière à lames d'eau dont nous parlerons à l'occasion des chaudières de bateaux.

Un ouvrage assez rare, intitulé *Manuel à l'usage des chefs d'établissement, conducteurs et chauffeurs de machines à vapeur*, par A. Tremtsuk, Ingénieur mécanicien, publié à Bordeaux en 1844, dit qu'un constructeur de cette ville, du nom de Symian, fit, en 1841, une chaudière formée de lames d'eau de 25 mm d'épaisseur séparées par des intervalles de 30 mm, pour le bateau de la Garonne, le *Jeune-Edouard*. Cette chaudière avait 70 m² de surface de chauffe et fournissait de la vapeur à 5,5 atm à une machine de 100 ch. Les résultats ne furent pas satisfaisants.

Le système inverse, consistant à employer des carneaux aplatis, a été beaucoup plus largement appliqué. Nous en reparlerons à l'occasion des chaudières marines.

Chapitre V.

Chaudières à tubes à fumée.

Suivant les idées généralement en cours sur la question des chaudières à tubes à fumée, l'histoire de celles-ci devrait débuter par leur invention par Marc Seguin, en 1828. Contrairement à cette manière de voir, nous commencerons plus tôt, car, si Seguin a été selon toute apparence le premier à construire un générateur dans ce système, on avait auparavant proposé déjà des dispositions de ce genre. L'idée de subdiviser un carneau circulaire en un grand nombre de petits tubes pour obtenir, par l'application d'un principe bien connu de géométrie, une augmentation considérable de la surface de chauffe, est si naturelle qu'on pourrait s'étonner à bon droit qu'elle ne fût venue à personne depuis que le besoin de chaudières de plus en plus puissantes s'était fait sentir jusqu'en 1828. Nous allons voir qu'il n'en a pas été ainsi et que plusieurs inventeurs avaient déjà eu cette idée.

Nous avons parlé, au chapitre des chaudières à tubes d'eau, du brevet de Barlow du 24 août 1793, où se trouve cette phrase significative : « L'objet de ces appareils est de présenter à l'action du feu la plus grande étendue de surface possible... comme on le peut aussi en faisant passer la flamme à travers de petits tuyaux répandus dans l'eau à chauffer. »

La planche LVIII du volume II de la *Description des machines et appareils*, etc., où se trouve déjà le dessin de la chaudière à tubes d'eau contient un croquis *(fig. 54)* représentant une chaudière dans laquelle un tube de faible diamètre, contourné plusieurs fois, sort du foyer à travers l'eau pour aller au dehors. Bien que ce dessin ne représente pas un faisceau de petits tubes parallèles, nous pensons que l'indication très nette du texte et le dessin de la chaudière à tubes d'eau *(fig. 32)* prouvent que l'inventeur avait bien la notion du faisceau tubulaire, et celui-ci appliqué à une des chaudières pouvait tout aussi bien l'être à l'autre générateur.

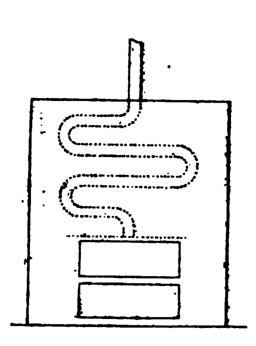


Fig. 54. — Chaudière à tubes à fumée de Barlow (1793).

Il reste à savoir quel était ce Barlow, titulaire du brevet en question. Il paraît bien que ce devait être Joel Barlow (1), poète et écrivain américain qui vécut à Paris vers l'époque indiquée et fut plus tard ministre plénipotentiaire des États-Unis en France. Il fit venir Fulton à Paris en 1796 pour y proposer son système de canaux et l'aida toujours de ses conseils et de sa bourse dans ses diverses tentatives faites en France. Fulton habita même chez Barlow pendant les sept années qu'il passa à Paris.

Comme Barlow n'était point un technicien et comme, de plus, Thurston affirme que le bateau de Fulton, essayé à Paris en 1803, était muni de la chaudière de Barlow, nous nous sommes demandé si l'invention de la chaudière ne serait pas de Fulton même, qui aurait fait prendre le brevet français par Barlow, présent à Paris à l'époque.

Comme il s'agit d'un brevet d'importation et qu'une législation sur les patentes existait déjà alors aux États-Unis, on pourrait peut-être trouver par cette voie quelque indication sur l'in-

(1) L'œuvre la plus remarquable de Barlow est un poème de grande étendue qui parut en 1787 sous le titre de *Vision de Colomb* et qui était dédié à Louis XVI ; une seconde édition parut en 1807 sous le nom de *Colombiade* : elle était dédiée à Robert Fulton.

venteur. Nous nous sommes donc adressé à M. Joseph Becker, ancien examinateur officiel du *Patent Office* à Washington. Voici ce que nous a répondu M. Becker, à la date du 13 janvier 1905 : « Un incendie a détruit presque tous les anciens documents du Patent Office à Washington. Nous n'avons aucun brevet de Fulton, c'est-à-dire aucun dessin et aucune description ; tout ce qui nous reste sur les anciens brevets est une liste donnant le nom de l'inventeur, le titre de l'invention et la date. Si vous voulez avoir une liste des brevets de Fulton (il me semble que je n'en ai remarqué que deux), je vous l'enverrai.

» A notre *Library of Congress*, qui correspond à votre Bibliothèque Nationale, j'ai trouvé une biographie de Joel Barlow. Cet ouvrage contient un grand nombre de lettres qui mentionnent indirectement les diverses inventions de Fulton, mais je n'y ai trouvé aucune allusion à une chaudière.

» M. Skinner, chef du bureau de classification du Patent Office, me dit qu'une recherche dans les archives de cet établissement serait peine perdue et que le seul espoir qui reste est de trouver une ancienne publication ou un document privé.

» Je n'ai pas évidemment abandonné la question et je me ferai un devoir de vous communiquer la moindre trace qui puisse vous servir et sur laquelle j'espère encore avoir le bonheur de tomber. »

Nous avons eu la chance de trouver dans la Bibliothèque de la Societé la liste dont parle M. Becker donnant les patentes délivrées aux États-Unis de 1790 à 1847. Il n'y a qu'un brevet au nom de Robert Fulton : il vise les bateaux et machines à vapeur et porte la date du 9 février 1811. Quant à Barlow, on ne trouve pour les machines à vapeur qu'une patente; elle est au nom de Nathan N. Barlow et date de 1846. Donc résultat négatif.

La question en est là. Sera-t-elle jamais élucidée ? Devra-t-on attribuer définitivement à un littérateur, poète et diplomate, l'honneur d'une des conceptions qui ont le plus contribué à révolutionner la navigation à vapeur ? En tout cas, c'est un problème que nous laissons à d'autres le soin de résoudre.

Nous croyons qu'on peut ranger dans la catégorie des chaudières tubulaires, car, enfin, il est assez difficile de préciser le nombre de tubes qui peut mériter la qualification de faisceau tubulaire, le très intéressant générateur décrit dans un brevet d'invention en date du 6 mars 1821 au nom de Gengembre père, ancien inspecteur général des monnaies de France, dont le fils,

Philippe Gengembre, mécanicien éminent, fut directeur de l'établissement d'Indret.

Ce générateur *(fig. 55)* est à foyer intérieur ; de la partie supérieure de ce foyer, formant plaque tubulaire, s'élèvent quatre tubes verticaux qui se raccordent à leur partie supérieure avec un tube vertical descendant qui sort par le côté de la partie inférieure de la chaudière. Celle-ci a son enveloppe en deux portions, dont la supérieure forme cloche et est rattachée à la partie inférieure par un joint à brides boulonnées. On voit qu'il suffit de démonter ce joint pour rendre abordables le foyer et les tubes. L'inventeur vise la facilité de nettoyage et l'accroissement de durée pour des chaudières alimentées avec de mauvaises eaux. Si on couche par la pensée cette chaudière sur le côté, on a la chaudière à foyer amovible bien connue postérieure de trente-cinq ans à celle dont nous nous occupons.

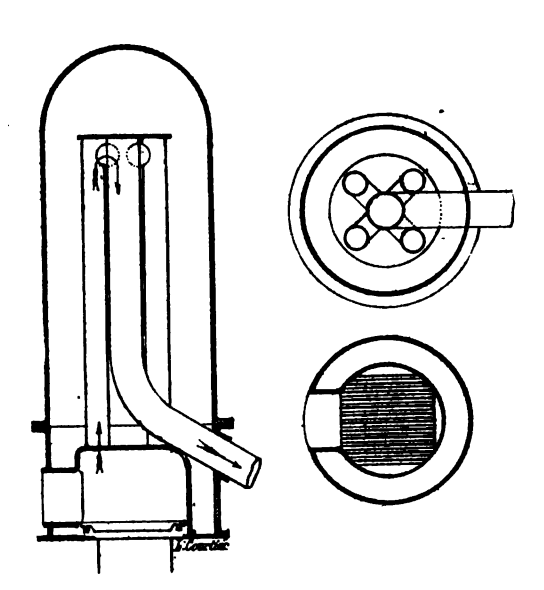


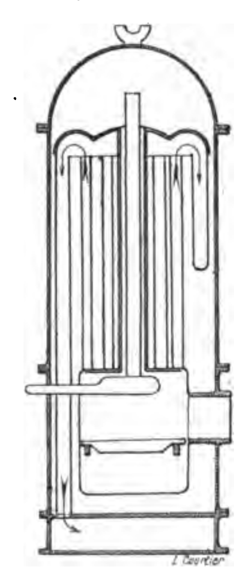
Fig. 55. — Chaudière tubulaire par Gengembre (1821).

Colburn, dans son grand ouvrage : *Locomotive Engineering*, paru en 1864, attribue la première invention de la chaudière à tubes à fumée à un Ingénieur de Londres, James Neville, patenté le 14 mars 1826. Cette chaudière, destinée, paraît-il, à une voiture à vapeur, a été décrite dans le *London Journal of Arts*, de Newton, volume XIV, année 1828, page 295 ; elle est représentée figure 56.

A notre avis, ce générateur présente une grande analogie avec celui de Gengembre ; en effet, il est vertical et muni de tubes ascendants et descendants et disposés de manière qu'en enlevant l'enveloppe on met à découvert le foyer et les tubes ; la différence consiste dans le nombre des tubes qui, au lieu d'être de 5, atteint le chiffre de 35. L'inventeur indique la possibilité de disposer sa chaudière dans le sens horizontal; mais, chose

singulière, du moins si on s'en rapporte à la description donnée par Colburn, il ne fait aucune mention de l'avantage de pouvoir enlever l'enveloppe pour nettoyer le dedans de la chaudière.

Les dimensions indiquées sont : diamètre extérieur, 0,94 m; hauteur, 2,60 m; foyer, 0,61 m de diamètre et 0,76 m de hauteur; 32 tubes en cuivre de 55 mm de diamètre et 1,22 m de longueur et 3 tubes de 87 mm de diamètre. Le tuyau central de prise de vapeur est disposé de manière à former surchauffeur au moyen d'un renflement plat placé dans le foyer. Colburn fait remarquer avec raison qu'un dispositif de ce genre en cuivre mince était destiné à être rapidement brûlé. La construction est indiquée en tôle de cuivre. L'auteur américain ajoute qu'il y a une disproportion flagrante entre la section de passage des tubes ascendants et celle des tubes descendants : la dernière devrait être plutôt supérieure, puisque le volume des gaz augmente avec le refroidissement. La surface de chauffe est de 10 m² et la surface de grille de 0,28 m, rapport 36.



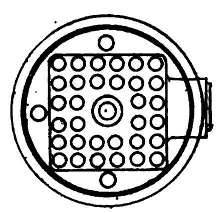


Fig. 56. — Chaudière tubulaire, patente Neville (1826).

La patente de Neville, que nous n'avons jamais trouvé mentionnée par les auteurs français, a une grande importance au point de vue des rapports à établir entre les travaux de Seguin et ceux de Stephenson, rapports qu'elle permet de présenter sous un jour très différent de celui qu'on leur donne généralement. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce point.

On trouve encore un document des plus intéressants sur la question de l'origine de la chaudière tubulaire dans une brochure intitulée : *La nouvelle mécanique du feu, moteur des machines*, par Legris, ingénieur-géomètre, Paris 1827. Cet auteur a publié, de 1823 à 1828, un certain nombre de traités sur diverses branches des sciences appliquées, depuis l'art militaire jusqu'à l'économie politique, « traités destinés à mettre en lumière ses innombrables inventions et, dit-il, à se venger de ses plus puissants ennemis, intéressés à laisser ses travaux dans l'obscurité. »

L'ouvrage dont nous nous occupons contient, avec un autre intitulé : *Machines à vapeur, à gaz et à air comprimé*, paru en 1828, la description de nombreux appareils destinés à la force motrice ou au chauffage. Ces livres sont écrits dans un style bizarre et confus et accompagnés de planches dont les figures ne sont autre chose que des croquis grossiers exécutés à main-levée par l'auteur. Au milieu d'un fatras de combinaisons baroques et peu pratiques, on démêle parfois des idées ingénieuses; citons, par exemple, des aperçus sur les machines compound avec manivelles à 90 degrés, la surchauffe de la vapeur, la combustion sous pression, les chaudières à tubes d'eau, les foyers ondulés, etc., toutes choses qui ont fait leur chemin depuis.

Ce qui nous intéresse ici est l'appareil décrit pages 62 et 63 du premier ouvrage et sur la figure XLVI, dont nous reproduisons *(fig. 57)* la partie concernant la chaudière : « La chau-

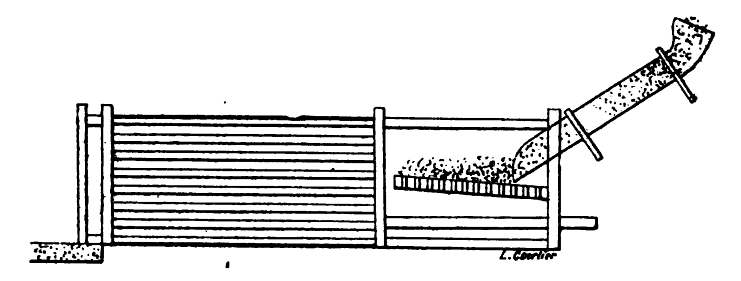


Fig. 57. — Croquis d'une chaudière tubulaire par Legris (1827).

dière est composée de deux parties : celle A, qui contient le foyer, et l'autre partie B, formée d'un cylindre rempli de très petits tuyaux de cuivre qui n'ont que quelques lignes de diamètre et placés le plus près possible les uns des autres, de sorte qu'ils ne soient entourés que d'une très petite épaisseur d'eau et que le cylindre en contienne le moins possible (d'eau), d'où il résulte que, pour une très grande force, les parois de ces tuyaux pourront être très minces, de sorte que l'eau du cylindre se trouvera pour ainsi dire chauffée sans opposition par le feu qui traversera les tuyaux pour aller à la cheminée. Si un tuyau venait à s'engorger, on pourrait le nettoyer avec une baguette appropriée à cet effet. Le combustible arrive dans le foyer par des tiroirs D, comme il a été déjà expliqué, et l'air par un tuyau E percé de petits trous, pour le reporter sur toute la longueur du foyer. Cette chaudière peut être horizontale ou verticale. »

Nous trouvons là, à la date de 1827, une description parfaitement claire d'une chaudière tubulaire à tirage forcé par insufflation dans le foyer, chaudière qui se rapproche beaucoup plus de la chaudière tubulaire actuelle à flamme directe que la chaudière de Seguin qui lui est postérieure.

Qu'on prenne ou non au sérieux les élucubrations de Legris, on ne peut contester qu'il y ait là un document dont il est impossible de ne pas tenir compte dans l'histoire de la chaudière tubulaire; ce document n'a jamais été mentionné, à notre connaissance, et cependant l'ouvrage où il se trouve consigné n'est pas d'une rareté particulière; nous croyons savoir qu'il se trouve notamment dans la bibliothèque du professeur du cours de machines à vapeur d'une des grandes écoles du Gouvernement.

Le brevet de Marc Seguin, le seul document qu'on cite généralement à ce sujet, porte la date du 22 février 1828. Il a été délivré aux Sieurs Seguin et Cie, à Lyon « pour la construction perfectionnée d'une chaudière à tubes creux » *(sic)*.

Voici le texte de la description :

« La vapeur se produisant en raison de la surface de chauffe, on a pensé qu'un moyen simple et tenant le moins de place possible était de faire une chaudière tubulaire.

» Celle inventée par nous se compose donc, comme on le voit dans le dessin, d'un nombre plus ou moins grand de tubes qui sont traversés par le calorique et ces tubes, entourés d'eau, forment une très grande surface de chauffe. »

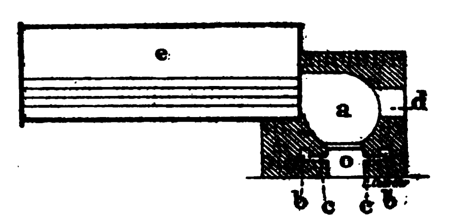


Fig. 58. — Brevet de Seguin pour la chaudière tubulaire (1828).

Voici la légende du dessin qui accompagne le brevet et dont la figure 58 est la reproduction :

a Fourneau alimenté par un ventilateur ou autrement;
b Chambres d'air;
c Tuyaux amenant l'air au foyer;
d Porte pour alimenter le fourneau;
e Tubes calorifères;
o Foyer.

On trouvera cette description et le dessin au volume XXXVII,

page 422 et planche XXXV de la *Description des machines et procédés*, etc.

Il y a un second brevet, à la date du 25 mars 1830, au nom de Seguin et Cie, à Lyon, brevet dans lequel est décrite la chaudière sous la forme dans laquelle elle a été appliquée aux locomotives du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon; la figure 59 reproduit celle qui est jointe à ce brevet.

Les locomotives dont nous venons de parler sont décrites d'une manière complète dans un rapport d'Albert Schlumberger et Émile Kœchlin lu à la Société Industrielle de Mulhouse, dans

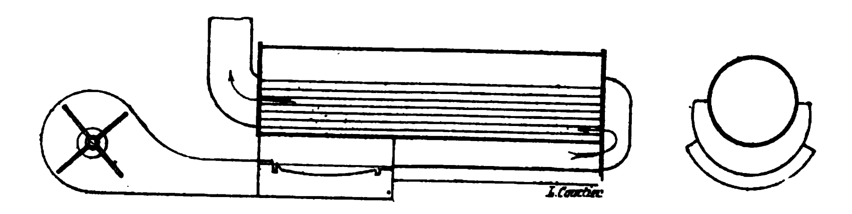


Fig. 59. — Brevet de Seguin pour la chaudière tubulaire (1830).

sa séance du 23 octobre 1831. Les auteurs du rapport ont été faire un voyage industriel à Saint-Étienne aux frais de la Société de Mulhouse pour étudier diverses questions, entre autres les chaudières à vapeur pour lesquelles MM. Seguin et Cie ont été brevetés. La date de ce voyage n'est pas indiquée, mais, comme il y est question de la Révolution de Juillet, on peut admettre que cette visite a eu lieu à la fin de 1830 ou au commencement de 1831. Nous empruntons à ce rapport la description de la chaudière tubulaire des locomotives de Seguin.

Le foyer, qui a 1,30 m de longueur sur 0,75 m de largeur, est placé entre deux parois en tôle contenant de l'eau et communiquant avec l'intérieur de la chaudière. Dans le fond du foyer se trouve une pièce creuse en fonte communiquant aussi avec la chaudière qui est elle-même fixée sur cette pièce.

La grille est composée de deux rangs de dix-sept barreaux chacun et placés l'un devant l'autre. La chaudière est cylindrique; son diamètre est d'environ 0,88 m et sa longueur de 3 m; elle est en tôle; sa partie inférieure, à peu près jusqu'à moitié de la hauteur, est traversée dans le sens de la longueur par quarante-trois petits tuyaux par lesquels l'air chaud passe avant de s'échapper en dehors. Il y a sous la chaudière une double

enveloppe qui sert à réchauffer l'eau d'alimentation. Le tout pèse environ 3 000 kg. La tension de la vapeur est de 3 atm en sus de la pression ordinaire.

La surface exposée au feu est de :

Chaudière, partie cylindrique	2,56 m²
Deux demi-bases à fond plat	0,55
Quarante-trois tuyaux dans la chaudière.	15,78
Deux doubles fonds sur les côtés	0,35
Réservoir sous la chaudière.	1,95
TOTAL.	21,19 m²

Cette chaudière, avec tirage forcé produit par un ventilateur soufflant dans le cendrier, donnait 6,5 à 7 kg de vapeur par kilogramme de charbon de la Grand-Croix. On brûlait 122 kg par heure, ce qui, pour une grille de 0,97 m², donne 125 kg par mètre carré et par heure. La vaporisation ressortait à 36 kg par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La pression de l'air dans le cendrier était de 16 à 20 mm d'eau pour 300 tours du ventilateur par minute. Le diamètre des tubes n'est pas indiqué, il serait, d'après le dessin à l'échelle, de 55 mm.

Telle est la première chaudière à tubes à fumée construite; c'est, comme on le voit, une chaudière à retour de flamme et chauffage en partie extérieur. Le croquis de l'ouvrage de Legris se rapproche beaucoup plus de la chaudière de locomotive actuelle, telle qu'elle a été exécutée par Stephenson.

La *Rocket* parut au concours de Rainhill, ouvert le 1er octobre 1829 et dont le programme avait été publié le 23 avril de la même année. Sa chaudière *(fig. 60)* se composait d'une boite à feu avec double paroi sur les côtés, le ciel et l'arrière; l'intervalle de ces parois était de 75 mm. La grille avait 0,915 m de largeur sur 0,610 m de longueur. La boite à feu était fixée contre un des fonds du corps cylindrique de 0,915 m de diamètre et 1,83 m de longueur, contenant vingt-cinq tubes en cuivre de 75 mm de diamètre.

L'enveloppe de la boite a feu communiquait avec le corps cylindrique par deux tubes extérieurs, un de chaque côté, et le ciel du foyer avec la chaudière par un troisième tube. Les tôles de cuivre du foyer étaient assemblées à rivets par des pinces rabattues. Nous n'avons pu rien trouver relativement à l'entretoisement des deux parois de l'enveloppe; aucun des dessins que

nous connaissons ne l'indique. La grille avait 0,56 m² de surface. La surface de chauffe était, pour le foyer, de 1,86 m² et pour les tubes de 10,95 m², total 12,81 m².

La chaudière, pendant les essais, produisait par heure 510 kg de vapeur avec 96 kg de coke, soit une vaporisation de 5,33, la combustion s'effectuant à raison de 172 kg de coke par mètre carré de grille et par heure et la vaporisation à raison de 40 kg par mètre carré de surface de chauffe et par heure, chiffre légèrement supérieur aux 36 kg de la chaudière de Seguin; la différence était probablement due au tirage plus intense de la ma-

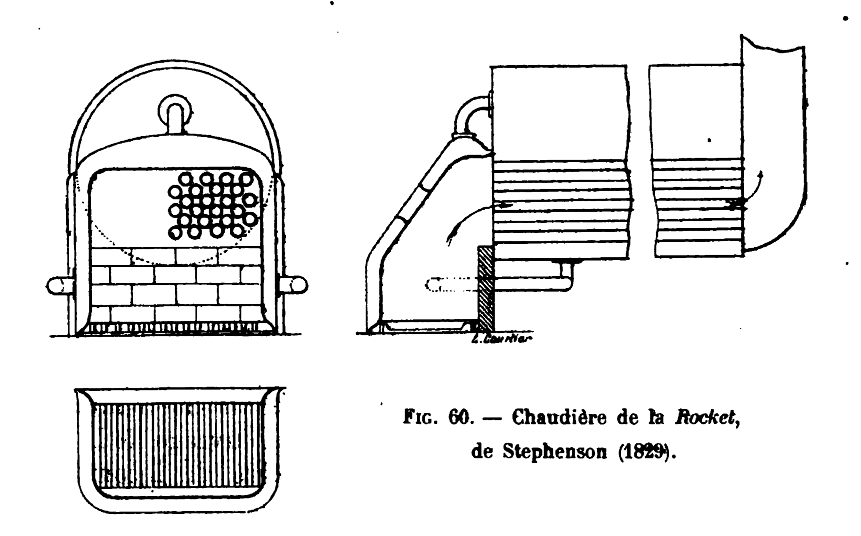


Fig. 60. — Chaudière de la *Rocket*, de Stephenson (1829).

chine anglaise produit par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, procédé plus énergique mais peut être moins économique que le ventilateur.

Le poids de la chaudière de la *Rocket* n'est pas indiqué, mais, comme la locomotive pleine d'eau ne pesait que 4 250 kg, ce générateur devait être très léger. Un fait curieux est que dans les deux chaudières de Seguin et de Stephenson, malgré les dispositions différentes des deux appareils, le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille est sensiblement le même, 22 et 23.

On peut donc en toute justice déclarer que, si la chaudière tubulaire a été réalisée par Marc Seguin, la chaudière de locomotive est due, elle, à George Stephenson; il est facile de voir que la chaudière de Seguin ne pouvait, sous la forme qu'il lui avait

donnée, se prêter ni à de fortes pressions, ni à de grandes vitesses.

On a souvent dit que l'idée d'employer un faisceau tubulaire pour augmenter la production de vapeur de sa chaudière avait été suggérée à George Stephenson par Henry Booth, secrétaire du chemin de fer de Liverpool à Manchester, et on ajoute que cette idée était venue à Booth de l'application faite de ce dispositif quelque temps avant par Seguin sur le chemin de fer de Saint-Étienne. Mais pourquoi ne serait-elle pas venue plutôt à Booth de la chaudière de Neville, puisque, si le générateur de Seguin est de 1828, la publication de la chaudière de Neville, patentèe dès 1826, dans le *Journal de Newton*, revue très répandue en Angleterre, est de la même année? Il semble que s'ils n'avaient eu devant eux que l'antériorité française, Booth et Stephenson auraient pu très bien, et la chose en valait la peine, prendre une patente en Angleterre, en s'entendant ou non avec Seguin, car la loi anglaise permettait d'accorder une patente au premier inventeur ou à *celui qui se croit tel*, tandis que l'existence d'une patente anglaise antérieure était un obstacle. Or, ni Booth, ni Stephenson n'ont patenté la chaudière tubulaire. Se sont-ils entendus avec Neville ou la patente de celui-ci était-elle déjà tombée? Nous l'ignorons.

En tout cas, le fait de la patente de Neville nous paraît changer du tout au tout l'aspect de la question. Dans un ouvrage fort intéressant et très bien fait intitulé : *Histoire documentaire de la Mécanique française*, par M. Émile Eude, Paris, 1902, l'auteur, traitant le sujet de la chaudière tubulaire, conclut en disant que le grand mérite de Stephenson est d'avoir appliqué ingénieusement, sur le conseil de Booth, un système déjà breveté chez nous; nous ajouterons *et antérieurement en Angleterre*. Ainsi complétée, la phrase serait plus juste.

Pendant que nous sommes sur le sujet, nous croyons pouvoir émettre le regret de voir M. Eude attaquer, à propos de la chaudière tubulaire et d'une manière très vive, un écrivain distingué, mort récemment, Samuel Smiles qui, dit-il, s'est fait une spécialité des Stephenson; nous ajouterons que Smiles a été aussi le biographe de Watt, de Bramah, de Maudslay, Nasmyth, Witworth, Richard Roberts, W. Fairbairn, pour ne parler que des principaux ingénieurs anglais. Smiles est aussi l'auteur d'un ouvrage intitulé : *Self Help* qui a eu un immense succès en Angleterre et qui a été traduit en français en 1868 sous le titre : *Self*

Help, ou *Caractères*, *Conduite et Persévérance*. Smiles a le grand tort, aux yeux de M. Eude, d'avoir été chirurgien; ce publiciste, qu'il traite de fantaisiste, n'étant pas Ingénieur, ne doit, dit-il, avoir qu'une autorité médiocre dans la matière. On pourrait répondre, croyons-nous, que certains médecins ont prouvé que leur profession n'était pas incompatible avec des travaux d'un autre ordre. Sans parler de l'illustre Papin, nous citerons le nom de Gurney qui fut un des pionniers de l'automobilisme et l'inventeur de l'emploi des ailettes dans les appareils de chauffage, et de Haycraft, qui fut un des premiers à chercher à mettre la surchauffe en pratique. Figuier, qui fut un vulgarisateur scientifique et industriel de grande réputation, était médecin et même avait été professeur à l'École de Pharmacie. Si M. Eude avait connu le brevet de Neville, il aurait été moins dur pour ce pauvre Smiles. Smiles, il est vrai, ne parle pas, croyons-nous, de l'antériorité de Neville, mais serait-ce aux auteurs français à lui en faire un reproche? La morale de l'incident est qu'il est extrêmement difficile d'écrire l'histoire d'*une mécanique*, qu'elle soit française, anglaise ou tout autre; les divers pays, surtout la France et l'Angleterre, ont trop de rapports pour qu'en travaillant dans cet ordre limité d'idées on ne risque pas, dans bien des cas, d'être injuste ou incomplet.

Si nous avons cru devoir relever ici une appréciation mal fondée, à notre avis, de M. Eude, nous tenons à déclarer que nous considérons le travail de cet Ingénieur comme des plus remarquables; il constitue une contribution d'une grande valeur à l'histoire encore si incomplète de la mécanique industrielle.

Pour permettre d'apprécier le rôle de Seguin dans l'introduction de la chaudière tubulaire, nous reproduisons ici un passage de son ouvrage *De l'influence des chemins de fer*, Paris, 1839, page 428 :

« Les machines locomotives que l'on construisait avant 1823 ne pouvaient suffire à la production que de 300 kg de vapeur à l'heure. Je dus à la protection éclairée que, dès cette époque, le Gouvernement français accordait à l'industrie, de pouvoir introduire en France, exemptes de droits, deux machines du modèle construit par sir Robert Stewenson *(sic)*, de Newcastle-sur-Tyne, telles qu'on les employait sur le chemin de fer de Darlington.

» L'une d'elles fut envoyée à M. Hallette, à Arras, pour qu'il l'étudiât, et l'autre fut transportée à Lyon pour servir de modèle à celles que je devais construire pour le service du chemin de

fer. Il résulta des essais multipliés qui furent faits sur ces machines, tant à Arras qu'à Lyon, que leur production ne pouvait dépasser 300 kg de vapeur à l'heure.

» L'insuffisance de vitesse de ces machines, les seules en usage en Angleterre jusqu'en 1829, me fit reconnaitre la nécessité d'augmenter les organes de production de la vapeur; aussi, dès l'année 1827, j'avais commencé à mettre à exécution le projet que je caressais depuis longtemps de multiplier les surfaces réchauffantes en faisant passer l'air chaud provenant de la combustion à travers une série de tubes plongés dans l'eau de la chaudière. Après quelques essais (emploi d'un ventilateur centrifuge), je parvins à produire jusqu'à 1 200 kg de vapeur à l'heure en employant des chaudières de 3 m de longueur sur 80 cm de diamètre, contenant quarante-trois tuyaux de 40 mm de diamètre. Je regardai alors la question comme résolue et je pris, le 12 décembre 1827, un brevet pour cette invention. »

Nous trouvons d'intéressants renseignements sur la construction de la locomotive de Seguin dans le compte rendu de l'Assemblée générale des Actionnaires de la Compagnie du Chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon du 21 décembre 1829. Il y est indiqué que les essais de cette locomotive ont eu lieu les 7 et 12 novembre 1829 sur une voie établie à Perrache sur 140 m de longueur, en courbe de 500 m de rayon, avec une déclivité de 0,016 par mètre.

Le matériel de la Compagnie se composait à cette date de deux locomotives Stephenson, dont une à Lyon et une à Arras, chez Hallette, une locomotive Seguin achevée et trois autres en construction (1).

Il semblerait donc que la *Rocket*, de Stephenson, qui a fonctionné à Rainhill dans les premiers jours d'octobre 1829, a marché avant celle de Seguin; mais, comme il s'agit ici de la chaudière tubulaire et non de la locomotive, nous croyons que la priorité de Marc Seguin ne saurait être douteuse. Elle résulte, en effet, non d'un brevet dont la valeur est, à notre avis, contestable à cause des antériorités que nous avons indiquées, mais de la première réalisation de la chaudière tubulaire faite par l'Ingénieur français plus d'un an avant Stephenson.

(1) Ces chiffres prouvent bien que les premières locomotives de Seguin avaient été construites de toutes pièces et n'étaient pas des locomotives Stephenson transformées par l'addition d'une chaudière à tubes, comme on l'a quelquefois prétendu. Les premières avaient des cylindres verticaux, placés sur les côtés de la chaudière, ce qui leur avait fait donner le sobriquet de *scieurs de long*.

Sur les quatre locomotives présentées au concours de Rainhill, deux avaient des chaudières portant des petits tubes, celle de Stephenson et la *Novelty* de Braithwaite et Ericsson. La chaudière de celle-ci était de forme particulière, les tubes étaient recourbés plusieurs fois sur eux-mêmes, comme dans la chaudière tubulaire de Barlow que nous avons représentée *(fig. 54)*. John Braithwaite avait un atelier de construction dans New Road,

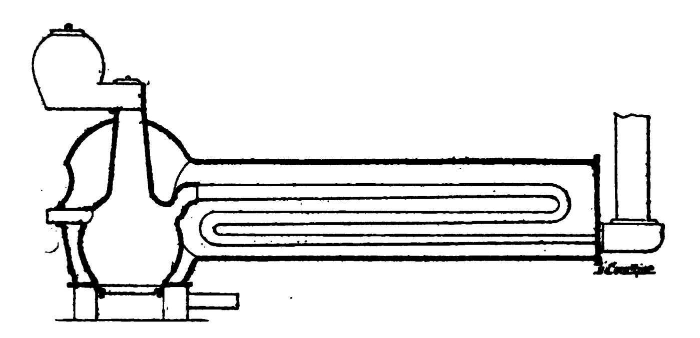


Fig. 61. — Chaudière de la *Novelty*, d'Ericsson (1829).

à Londres, et s'était associé avec Ericsson en 1827; ils firent, en 1828, une pompe à incendie à vapeur qui donna les meilleurs résultats. On prétend que cette machine comportait beaucoup de détails qui furent utilisés dans l'étude de la *Novelty*, ce qui expliquerait l'extrême rapidité avec laquelle celle-ci fut construite. Braithwaite et Ericsson n'auraient appris qu'au mois de juillet et par hasard qu'un concours pour des locomotives s'ouvrirait le 1er octobre 1829, soit deux mois plus tard; on dit qu'en effet la *Novelty* fut construite en sept semaines.

Cette locomotive donna de très bons résultats et elle aurait pu disputer la victoire à celle de Stephenson si la fermeture intempestive du robinet de retenue de la chaudière lors de l'alimentation n'avait amené la rupture du tuyau et la mise hors de service de la machine. La meilleure preuve de la satisfaction qu'elle avait donnée est que les directeurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester commandèrent immédiatement aux constructeurs deux locomotives semblables qui furent livrées le 1er juillet 1830.

La chaudière *(fig. 61)* se composait d'un foyer vertical à base circulaire contenant, à la partie inférieure, une grille de 0,18 m^2 de surface et renfermé dans une enveloppe de même forme rac-

cordée à un corps cylindrique horizontal de 0,51 m de diamètre et 3,05 m de longueur; ce corps contenait des tubes en cuivre repliés trois fois sur eux-mêmes, de 0,10 m de diamètre à la boîte à feu, et 0,075 du côté de la cheminée, et d'une longueur totale de 11 m. La surface de chauffe était de 0,88 m² pour le foyer et 3,07 pour les tubes, total 4,95 m²; le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille ressortait ainsi à 28. Le cendrier était clos et des soufflets mus par la machine envoyaient de l'air sous la grille. Dans les locomotives suivantes, les soufflets étaient mus par un petit cylindre à vapeur spécial. La pression à la chaudière était de 50 livres, 3,5 kg, maximum fixé par le programme du concours. Le poids de la *Novelty* avec les approvisionnements qu'elle portait était de 3 100 kg seulement.

On dit que cette chaudière fut patentée par Ericsson en 1829; elle différait, en effet, assez de la chaudière de Neville pour que la prise d'une patente se justifiât. Quoi qu'il en soit, il fut construit un assez grand nombre de ces chaudières surtout pour la navigation, ainsi que nous le verrons un peu plus loin.

On peut encore citer une troisième forme de chaudière tubulaire de locomotive en usage à cette époque ou à une très peu différente; en effet, Timothy Hackworth, un des concurrents du

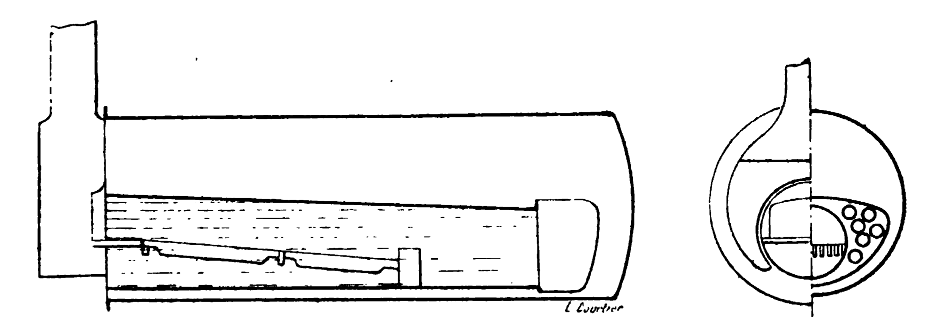


Fig. 62. — Chaudière de locomotive d'Hackworth (1830).

concours de Rainhill, fit des chaudières tubulaires à retour de flamme, notamment pour le chemin de fer de Stockton à Darlington (*fig. 62*). Le corps cylindrique avait 1,10 m de diamètre et 4 m de longueur; il contenait un foyer horizontal de 0,75 m de diamètre et de 2,70 m de longueur, terminé par une boîte à feu d'où les tubes revenaient à la façade de la chaudière; il y avait 106 tubes de 43 mm de diamètre et 2,70 de longueur; la boîte

à fumée entourait la porte du foyer sur les côtés et en dessus. Ce type de chaudières a été très employé depuis pour locomobiles et machines demi-fixes. Les locomotives dont nous parlons avaient six roues accouplées et des cylindres verticaux actionnant un faux essieu accouplé aux autres.

D'après un état contenu dans le *Practical Treatise on Railroads* de N. Wood, il y avait, au 1er décembre 1833, au chemin de fer de Darlington, douze locomotives neuves avec chaudières de ce système, sans compter un certain nombre de plus anciennes semblables.

Si la chaudière de la *Rocket* était établie sur le principe des chaudières actuelles de locomotives, elle n'en avait pas tout à fait la forme; celle-ci apparut pour la première fois sur la locomotive *Planet*, construite par Stephenson pour le chemin de fer de Liverpool à Manchester et qui fut livrée en septembre 1830. La chaudière de cette locomotive avait 0,915 m de diamètre et contenait 129 tubes de 42 mm de diamètre et 1,982 m de longueur; la surface de chauffe était de 3,46 m² pour le foyer et de 34,4 pour les tubes, soit, en tout, 37,86 m²; la grille avait une surface de 0,60 m².

La locomotive pesait 8 t; elle avait les cylindres intérieurs, actionnant un essieu coudé; on put réaliser avec elle une vitesse maximum de 50 km à l'heure.

Il est intéressant de signaler que cette disposition de chaudière, caractérisée par un corps cylindrique horizontal, contenant des tubes à fumée compris entre un foyer en forme de parallélipipède renfermé dans une enveloppe de même forme attenant au corps cylindrique et une boîte à fumée terminant ce même corps, s'est conservée jusqu'à l'époque actuelle, c'est-à-dire pendant plus de soixante-quinze ans, sans avoir subi d'autre modification que des améliorations dans les détails de construction.

Les changements plus importants qu'on a tenté d'y apporter n'ont pas prévalu, on peut citer les formes du foyer; on a cherché à remplacer la forme cubique par la forme cylindrique ou demi-cylindrique verticale, chaudières de Bury et de Meyer, ou horizontales (1). Nous trouvons un exemple de cette dernière dans des chaudières de locomotives du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon construites par Verpilleux et qui existaient en-

(1) N. Wood donne, dans son *Practical Treatise on Railroads*, un dessin d'une chaudière de ce genre qu'il dit avoir employé dès 1830 sur les locomotives des houillères de Killingworth.

core en 1844 (*fig. 63*); le corps cylindrique avait 1,20 m de diamètre et contenait un foyer de 0,92 m d'où partaient 117 tubes de 50 mm de diamètre et 2 m de longueur. La surface de grille était de 1,10 m² et la surface de chauffe de 40,5 m². La pression était de 3,5 kg effectifs. Le réservoir était constitué par une partie demi-cylindrique en cuivre placée sur la chaudière et communiquant avec elle par de larges ouvertures pratiquées dans le corps cylindrique. Cette disposition très vicieuse amena sur une de ces locomotives une explosion sur laquelle on trouve un rapport dans les *Annales des Mines* de 1845. Cette forme de générateur a été reproduite dans ces dernières années en Europe et en Amérique avec emploi de foyers ondulés; ces essais ne paraissent pas avoir eu grand succès.

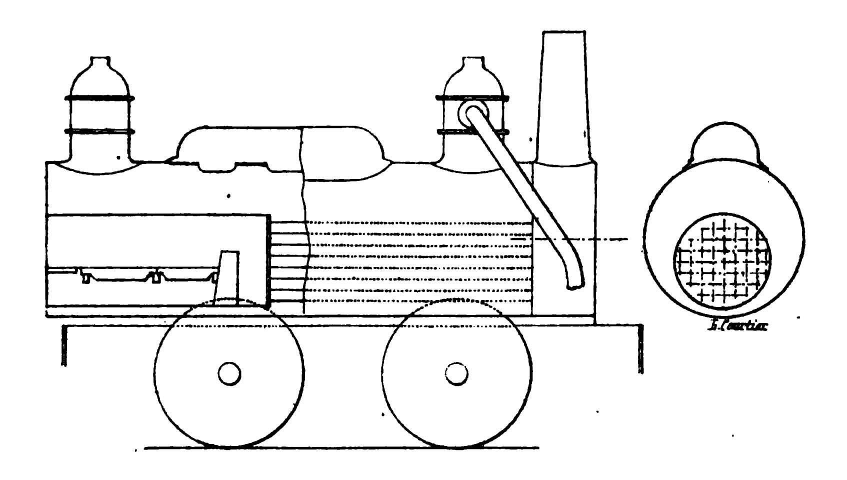


FIG. 63. — Chaudière de Verpilleux (1835).

Une tentative plus radicale a été faite depuis quelques années dans le but de remplacer l'enveloppe d'eau contenant le foyer et qui est coûteuse et d'un entretien délicat par des parois en matières réfractaires: ce sont les systèmes de chaudières ou plutôt de foyers de Verderber, Borck, Docteur, etc.; ces systèmes ne se sont pas répandus. Dernièrement est apparu le foyer Brotan, dans lequel les lames d'eau sont remplacées par des tubes verticaux. On a même proposé un changement complet de type de générateur en mettant l'eau dans les tubes au lieu d'y faire passer la fumée. Harrisson, dont nous avons déjà eu occasion de citer le nom, a, vers 1850, étudié des dispositions curieuses

dans cet ordre d'idées; on les trouvera décrites dans le *Practical Mechanic's Journal*, vol. VI. On peut citer la chaudière de Dimpfel datant de 1853 et celle de Beardmore, de 1856, toutes deux essayées, sans succès d'ailleurs, aux États-Unis. Une chaudière à tubes d'eau est en service depuis plusieurs années, sur les chemins de fer algériens, et donne de très bons résultats; elle est due, comme on sait, à notre distingué collègue M. Robert.

Trevithick patenta, en 1831, une chaudière verticale tubulaire (*fig. 64*) avec boîte à fumée à la partie supérieure, de la forme encore en usage aujourd'hui. Il ne revendique pas la disposition même de la chaudière, mais simplement des dispositions accessoires, telles que l'addition, autour du corps vertical, d'une enveloppe contenant des tubes aussi verticaux dans lesquels passe de l'air envoyé par une soufflerie, tandis qu'autour circule la vapeur d'échappement de la machine. Cette vapeur se condense plus ou moins complètement, tandis que l'air s'échauffe avant de passer au cendrier pour alimenter la combustion. Trevithick vise la combustion plus active, la possibilité de recueillir l'eau condensée pour l'alimentation de la chaudière et la sécurité que donnerait contre les conséquences d'une explosion l'existence de l'enveloppe formant condenseur à surface autour du corps de la chaudière.

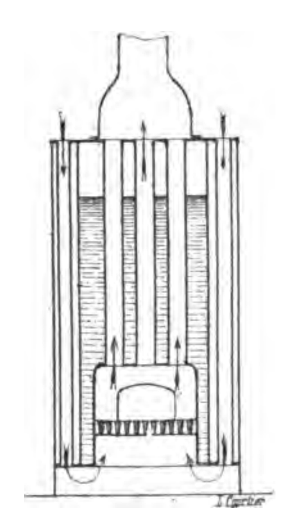


Fig. 64. — Chaudière tubulaire de Trevithick (1831).

L'inventeur destinait cette chaudière à la navigation maritime; il avait fait auparavant des démarches auprès de l'Amirauté afin d'en obtenir le prêt d'une coque de bateau sur laquelle il aurait installé à ses frais un moteur à haute pression. Cette demande resta sans réponse, car l'Amirauté et ses conseils techniques considéraient qu'en dehors des machines à basse pression il n'y avait rien à faire dans la marine, et cependant l'emploi de la haute pression faisait réaliser des économies énormes de combustible dans les Cornouailles. Nous verrons plus loin qu'en France les idées étaient les mêmes dans les régions officielles et cela non sans quelques raisons, il faut l'avouer.

Thurston indique que Stevens introduisit en 1832 la forme de

chaudière tubulaire à retour de flamme sur les bateaux aux États-Unis; nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Nous donnerons encore deux formes de chaudières à tubes à fumée proposées il y a déjà longtemps. La première a fait l'objet d'un brevet français en date du 11 avril 1838 au nom de Claude Duclos, à Paris, pour une machine à vapeur. La chaudière (*fig. 65*) est à enveloppe cylindrique à foyer intérieur circulaire et tubes en retour du modèle employé actuellement en marine. La machine est sur la chaudière avec le cylindre placé verticalement dans la boîte à feu à l'arrière du foyer. Le dessin joint à la description représente une chaudière de très faibles dimensions : enveloppe 1 m de diamètre, foyer 0,40, 16 tubes de 0,10 m de diamètre et 1,10 de longueur, ce qui correspondrait à une surface de chauffe de 6,50 à 7 m². L'inventeur revendique les avantages d'avoir une chaudière puissante sous un faible volume et pouvant supporter, grâce à la forme cylindrique, des pressions élevées.

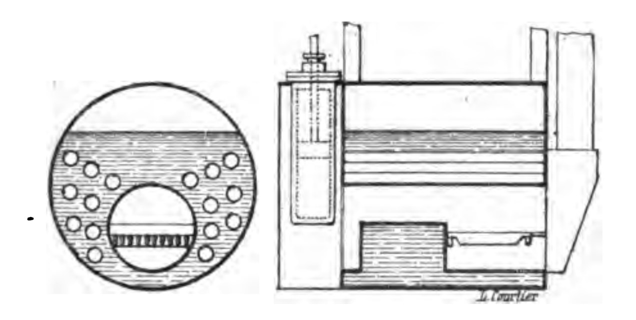


Fig. 65. — Chaudière tubulaire de Duclos (1838).

Un second exemple est la chaudière tubulaire brevetée, à la date du 27 octobre 1841, par le sieur Étienne Chavepeyre; l'inventeur emploie (*fig. 66*) des tubes horizontaux partant du foyer et se recourbant verticalement à l'autre extrémité pour se fixer à une plaque tubulaire horizontale portant la cheminée. L'intérêt de ce dispositif est qu'il contient en substance un type très employé plus tard pour les locomobiles et aussi qu'il est le point de départ des chaudières à tubes recourbés employés sur une assez grande échelle, il y a une quarantaine d'années, par des constructeurs de locomobiles et aussi de pompes à incendie à vapeur. L'inventeur vise la facilité de dilatation des tubes qui ne

forcent plus sur les plaques tubulaires comme les tubes droits et divers avantages accessoires.

Nous terminerons ce qui concerne les chaudières tubulaires en relatant un fait assez singulier qui s'est produit au sujet de l'origine de ces chaudières.

Chopin-Dallery, mari d'une petite-fille de Charles Dallery dont nous avons parlé à l'occasion des chaudières à tubes d'eau, pré-

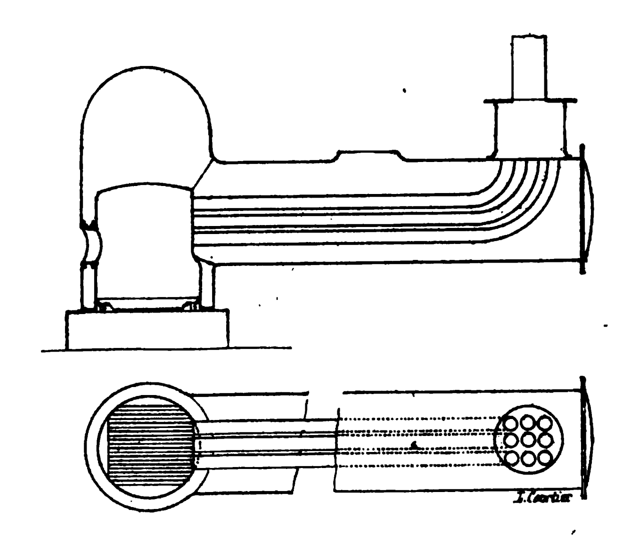


FIG. 66. — Chaudière Chavepeyre (1841).

senta en 1844, à l'Académie des Sciences, un mémoire destiné à revendiquer en faveur de Dallery l'invention de l'hélice, de la chaudière tubulaire et de divers autres perfectionnements dont, par parenthèse, l'un ne manque pas d'intérêt: c'est l'emploi d'une spirale tournant dans la cheminée pour produire un tirage artificiel, disposition souvent proposée et même quelquefois appliquée depuis. Un rapport adressé à l'Académie, dans la séance du 17 mars 1845, par une Commission composée d'Arago, Dupin, Poncelet et Morin, rapporteur, reconnaît que : « La chaudière de la machine se composait de tubes bouilleurs verticaux et remplis d'eau communiquant par la partie supérieure avec un réservoir de vapeur; elle présente, sous ce rapport, beaucoup d'analogie avec des inventions plus récentes ». Il résulte, pour la Commission, la preuve que, dès l'année 1803, Dallery avait proposé : 1° l'emploi de *chaudières à bouilleurs verticaux* communiquant avec un réservoir à vapeur, etc. » le reste concerne

les autres parties de l'invention qui ne rentrent pas dans notre sujet. « En conséquence, ils vous proposent de reconnaître l'exactitude de la réclamation qui a été adressée à ce sujet à l'Académie, par M. Chopin-Dallery ». Les conclusions de ce rapport ont été adoptées.

Dès le dépôt de ce rapport, Chopin Dallery s'empresse de profiter de la rédaction, très imprudente, de la dernière phrase, pour déclarer que : « D'après les conclusions de la Commission adoptées par l'Académie, c'est un fait acquis à l'histoire de la machine à vapeur que, dès l'année 1803, l'Ingénieur Dallery avait imaginé *la chaudière tubulaire* sans laquelle il n'y aurait pas une seule locomotive en France et dans les deux mondes. »

Comme on l'a vu, le rapport de la Commission de l'Académie ne dit pas un mot de la chaudière tubulaire, mais parle seulement de la chaudière à bouilleurs verticaux, ce qui est tout autre chose; mais, comme ce rapport déclare justifiée la réclamation de Dallery qui parle, lui, de la chaudière tubulaire, on s'explique, jusqu'à un certain point, comment bien des gens, et pas des moindres, ont pu, sur la foi de cette déclaration et sans chercher plus loin, conclure en faveur de l'invention de la chaudière tubulaire par Dallery.

Une brochure publiée en 1855, par Chopin-Dallery, et intitulée : *Origine de l'hélice propulso-directeur et de la chaudière tubulaire*, brochure qui contient le brevet *in extenso* et des renseignements très intéressants sur le retard apporté à sa publication dans le recueil officiel, renferme un grand nombre d'extraits de la presse scientifique de Paris et des départements déclarant à qui mieux mieux et dans les termes les plus élogieux, souvent dithyrambiques, que « Dallery est l'auteur de *la chaudière tubulaire*, invention qui demandait du génie, car le problème se posait ainsi : augmenter la surface de chauffe en diminuant le volume de la chaudière, invention capitale puisqu'elle était la condition *sine qua non* du transport par chemins de fer ».

Au premier rang de ces écrivains enthousiastes était Victor Meunier, qui terminait un article sur ce sujet, par le rapprochement suivant entre Marc Seguin et Charles Dallery : « Il n'entrera dans la pensée de personne d'accuser M. Seguin de plagiat; tout le monde l'admire et le respecte, et Dallery n'a pas besoin, pour paraître grand, qu'on rapetisse ses rivaux, mais enfin, devant l'histoire, les comptes réciproques de ces deux grands Ingénieurs doivent être réglés conformément au prin-

cipe suivant, posé par M. Arago dans sa *Notice sur les machines à vapeur* et qui fait autorité en jurisprudence scientifique : « Dans les arts, comme dans les sciences, le dernier venu est censé avoir eu connaissance de ses devanciers. Toute déclaration négative à cet égard est sans valeur ». Nous maintenons donc que l'inventeur de la chaudière tubulaire est Dallery et nous reconnaissons que M. Seguin est l'inventeur de cette espèce particulière de chaudière tubulaire qui est employée jusqu'ici dans la locomotion terrestre et maritime. »

Ces raisonnements dont l'exagération saute aux yeux et la légende attribuant à Dallery l'invention de la chaudière tubulaire, légende qu'ils ont largement contribué à créer, perdent toute espèce de valeur dès qu'on dévoile la confusion introduite par Chopin, grâce à une rédaction défectueuse du rapport à l'Académie, confusion qui modifie considérablement la portée de ce rapport au point d'en changer même la signification.

De plus, l'existence du brevet de Barlow primerait en grande partie celui de Dallery, en vertu même du principe d'Arago qui, invoqué par Victor Meunier en faveur de Dallery, se trouve, au contraire, tourner contre lui.

On se tromperait singulièrement si on supposait que nous dénions tout mérite à Dallery. Loin de là. Autant nous protestons contre la part exagérée que certains écrivains mal informés ont voulu lui faire, autant nous trouverions injuste d'oublier son nom parmi ceux qui ont contribué à l'origine et au développement de la machine à vapeur et de son application à la navigation ; il y occupera une place honorable sans avoir besoin d'empiéter sur celle d'autres.

On nous permettra, toutefois, de citer une circonstance bien frappante. Dallery, d'après son biographe Chopin, « voyant ses ressources épuisées avant que ses appareils fussent complètement installés, pris de découragement, saisit un marteau et, donnant à la fois l'ordre et l'exemple à ses ouvriers, il mit son bateau en pièces ; telle fut la fin de son rêve. Un pas de plus, un peu plus d'or, et le premier bateau à vapeur avec hélice et chaudière tubulaire était un fait accompli. »

Il nous paraît infiniment probable, étant données les dispositions peu pratiques et même souvent vicieuses des diverses parties mécaniques du bateau de Dallery, si nous jugeons d'après les dessins conservés, que l'échec eût été complet et que, dès lors, l'inventeur fût tombé au rang de tous ceux qui, pour ne citer

que Desblancs et Perier, en France, firent des essais infructueux de navigation à vapeur, c'est-à-dire qu'il n'eût été que peu où point parlé de lui. Au contraire, n'ayant pas subi l'épreuve de l'expérience, Dallery s'est trouvé, grâce aux circonstances, promu à un rang distingué dans le martyrologe des inventeurs.

Quant à Marc Seguin, son rôle est bien net; si on ne peut pas rigoureusement dire qu'il a inventé la chaudière tubulaire, il aura toujours le grand et incontestable mérite de l'avoir réalisée le premier.

Chapitre VI.

Chaudières à vaporisation instantanée.

L'idée de faire des générateurs ne contenant pas d'eau et de produire la vapeur par l'injection sur des surfaces métalliques rougies de la quantité de liquide correspondant à un coup de piston, s'est présentée de bonne heure à l'esprit des inventeurs, à une époque où les chaudières employées étaient lourdes et encombrantes. En effet, ce genre de chaudières ou plutôt d'appareils remplaçant les chaudières que les Anglais appellent *flash boilers* est déjà ancien et remonte presque à l'origine de la machine à vapeur.

Il paraît s'être, même au début, produit dans les idées des chercheurs une confusion entre la notion de température et celle de quantité de chaleur; il leur semblait qu'en envoyant de l'eau dans une faible capacité chauffée au rouge, on devait obtenir autant de vapeur qu'avec une volumineuse chaudière dont les parois n'étaient qu'à une température à peine supérieure à celle de l'eau contenue. Cette illusion a produit bien des déboires. Dès qu'on envoyait une quantité un peu notable d'eau dans des capacités chauffées au rouge vif, les surfaces noircissaient et il ne sortait plus que de l'eau chaude mêlée d'un peu de vapeur, parce que la faiblesse de la surface chauffée ne permettait pas l'absorption d'une quantité de calorique suffisante pour maintenir le métal à une température élevée.

La première indication d'une chaudière à vaporisation instantanée paraît, d'après les auteurs anglais, remonter au milieu du

XVIIIe siècle. John Payne, qui fit, en 1741, la première expérience directe pour déterminer la densité de la vapeur, essaya, à la même époque, un générateur de vapeur constitué par un vase conique chauffé au rouge par l'extérieur et sur les parois intérieures duquel l'eau était projetée en pluie par les trous d'un petit vase en cuivre tournant rapidement autour d'un axe vertical. Payne ajoute que des expériences faites, entre autres, à Newcastle-sur-Tyne, lui ont fait trouver que 50 kg de houille vaporisaient à peu près 340 l d'eau, soit 6,8 d'eau pour 1 de combustible.

Nous sautons ensuite au commencement du siècle dernier. Hachette, dans son *Traité des Machines*, Paris 1828, page 290, donne le curieux renseignement que voici : « En 1800, Fulton, Ingénieur américain, l'inventeur des bateaux à vapeur et des panoramas, a fait à Paris l'essai d'une machine à vapeur à très haute pression. La chambre dans laquelle la vapeur se formait ne communiquait que par intervalle avec un réservoir d'eau froide; chaque communication avait pour objet d'introduire dans la chambre la quantité d'eau nécessaire pour un seul coup de piston. » M. Calla, mécanicien (rue du Faubourg-Saint-Denis, n° 92, à Paris), a conservé le dessin d'après lequel a été exécutée cette machine, sous la direction de Fulton; ce dessin, dont j'ai vu une copie, est à l'échelle de 1/3 de la grandeur naturelle. La chambre de vapeur, placée au milieu du foyer, est un cylindre de cuivre rouge de 0,10 m de diamètre et de même hauteur. Le cylindre à piston est en cuivre jaune de 51 mm de diamètre et environ 0,61 m de longueur; il est vissé sur la chambre à vapeur. Un peu au-dessus de cette jonction, il est traversé par deux tubes inclinés dont le diamètre intérieur est d'environ 3 mm. L'eau du réservoir tombe par l'un de ces tubes dans la chambre de vapeur; cette chambre communique avec l'air extérieur par l'autre tube.

Cette double communication étant interrompue par des robinets, que la tige du piston moteur ouvre et ferme en temps convenable, la vapeur se forme dans une chambre chauffée au rouge et sa pression s'exerce sur la base du piston moteur.

Ce piston, arrivé à la limite supérieure de sa course, ouvre de nouveau la communication de la chambre à vapeur avec le réservoir d'eau et avec l'air atmosphérique; soumis à l'action d'un contrepoids dont sa tige est garnie, le piston descend et la pression de la vapeur sur sa base se renouvelle.

Fulton avait l'intention d'employer la vapeur à la pression de 32 atm. Après quelques essais, faits avec M. Callà, la chambre à vapeur s'est détériorée et la machine fut abandonnée. »

Perkins, un des premiers qui ait mis en pratique, avec plus ou moins de succès, ce mode de génération de la vapeur, commença à s'en occuper en 1822. Nous croyons devoir donner ici quelques détails sur cette dynastie d'inventeurs.

Jacob Perkins, le premier de celle-ci, était né en 1766, aux États-Unis, et vint en Angleterre puis en France en 1820; on dit qu'il ne prit pas moins de 90 patentes d'invention dans sa vie, certaines eurent un grand succès, entre autres une pour sa machine à graver les billets de banque. Il mourut à Londres en 1849. Stuart, dans l'ouvrage déjà cité, fait suivre la description de la machine de Perkins des appréciations suivantes : « Aucun autre mécanicien, à l'époque actuelle (1830), n'a fait plus pour porter la lumière dans une branche encore peu connue de la science, au moyen d'expériences délicates, dangereuses et coûteuses, aucun n'a plus mérité d'encouragement pour ses travaux et n'en a reçu moins.

Même, dans leur forme actuelle, ses expériences ouvrent de nouveaux horizons aux recherches, et les dispositions mécaniques qu'il a introduites sont de nature à amener d'heureuses modifications dans les proportions et les arrangements de détail des machines à vapeur. »

Le second fils du précédent, Angus March Perkins, naquit aux États-Unis, à la fin du XVIIIe siècle, et, venu en Europe avec son père, s'occupa de diverses inventions, entre autres de l'application de la vapeur à haute pression à la force motrice et au chauffage; il mourut à Londres, en 1881, à l'âge de 82 ans.

Un fils de celui-ci, petit-fils, par conséquent, de Jacob, Loftus Perkins, né à Londres, en 1834, continua à s'occuper de l'application de la vapeur à haute pression et construisit notamment, en 1880, le bateau l'*Anthracite*, dont la chaudière fournissait la vapeur à 600 livres ou 42 kg de pression; ce navire traversa l'Atlantique.

Perkins construisit, sur le même principe, des locomotives routières et fit aussi des machines frigorifiques; il mourut en 1892.

Le premier générateur de Perkins se composait d'une capacité cylindrique très résistante d'une trentaine de litres, portant une soupape chargée à une forte pression, soit 50 kg environ; cette capacité était remplie d'eau et chauffée dans un foyer à haute

température. Si on envoyait, dans cette capacité, une petite quantité d'eau refoulée par une pompe d'injection, vu l'incompressibilité de l'eau, il sortait par la soupape une quantité égale de liquide qui se réduisait instantanément en vapeur à haute tension, laquelle allait actionner le piston de la machine; celle-ci affectait des dispositions spéciales dont l'examen ne rentre pas dans le cadre du présent travail.

Perkins modifia, en 1824, ce générateur et le composa de barreaux en fonte à section carrés de 0,125 m de côté, percés suivant la longueur d'un conduit de 37 mm de diamètre; ces barreaux étaient placés horizontalement et parallèlement dans un fourneau et raccordés les uns aux autres par des coudes extérieur emmanchés par des parties coniques serrées par des boulons. Les deux rangées supérieures contenaient de l'eau chauffée à 300 degrés centigrades environ. Entre le dernier barreau de la seconde rangée et le premier de la troisième rangée se trouve une boite renfermant une soupape fortement chargée. La pompe d'injection envoyant de l'eau dans le circuit fait, à chaque coup de piston, sortir par la soupape une quantité d'eau qui se vaporise instantanément et se surchauffe en parcourant la dernière rangée de barreaux placés au-dessus de la grille (*fig.* 67) et chauffée à 450 ou 500 degrés. Cette disposition, par la forme et la masse des barreaux, donnait au générateur un volant de chaleur qui régularisait, dans une certaine mesure, la production de vapeur.

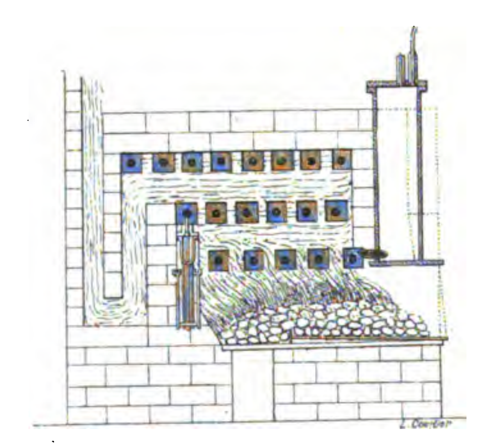


Fig. 67. — Générateur Perkins (1824).

Le brevet d'importation, en France, de Perkins est du 7 décembre 1827 ; il vise l'application de ces générateurs aux canons et fusils à vapeur. On sait que Perkins fit des essais prolongés sur ce sujet, en Angleterre et aussi en France. On dit que le Gouvernement français lui acheta son brevet 100000 f; il ne fut d'ailleurs pas le seul à s'occuper alors de cette question. Perrot fit aussi un fusil à vapeur; on trouvera des détails sur la question

dans les *Œuvres d'Arago, Notices scientifiques*, volume III, page 201. Nous ajouterons, à titre de renseignement pour les personnes que ce sujet intéresserait, que Legris, dont nous avons déjà parlé à l'article des chaudières à tubes à fumée, a publié, au commencement de 1825, un livre intitulé *Mécanique militaire* où, dit-il, il a fait connaître, le premier, les principes des canons ou fusils à vapeur et la manière de les construire et de les employer. Notre auteur tient d'ailleurs essentiellement à ce qu'on sache que « ses machines de guerre, si meurtrières, sont analogues comme but à un fusil employé dans un bois à tuer les bêtes féroces qui dévastent les campagnes et qui jettent l'effroi parmi les habitants paisibles et qui est une machine conservatrice valant les meilleures machines productives. Son but est d'empêcher la guerre par terre comme par mer et non de la faire ». C'est ce que disent d'ailleurs tous les auteurs et fabricants d'inventions meurtrières.

Deux inventeurs français, Revon et Moulinié, de Paris, prirent, à la date du 18 décembre 1823, un brevet pour des dispositions de chaudières comportant des tubes de très petit diamètre, 4 mm à l'intérieur.

Le principe de cet appareil, disaient les brevetés, consiste à réduire subitement en vapeur la petite quantité d'eau nécessaire pour produire l'ascension du piston; on y parvient en présentant cette eau au feu avec la plus grande surface possible; on l'introduit, en effet, dans un long tube de 4 mm de diamètre sur 1 mm d'épaisseur, exposé de toute part au feu qui le rougit. Ce tuyau, qui reçoit l'eau à chaque coup de piston, se maintient toujours rouge. Il vaporise l'eau subitement et porte la vapeur à un très haut degré d'élasticité. Les auteurs ajoutent que, dans leurs essais, ils se sont bornés à une pression de 10 kg par centimètre carré de surface de piston, mais qu'on peut pousser cette pression beaucoup plus haut. Ils proposent cette chaudière pour des chars et des bateaux à vapeur.

Il est probable que Revon et Moulinié ne tardèrent pas à s'apercevoir que les tubes de 4 mm de diamètre se bouchaient rapidement par les dépôts causés par les sels contenus dans l'eau, car, dans des certificats d'addition successifs, ils augmentent toujours le diamètre de leurs tubes; ils le portent d'abord à 22 mm en modifiant également la disposition, pour arriver enfin, dans un certificat, du 29 février 1828, délivré au sieur Roon, à proposer des tuyaux d'assez fort diamètre placés verti-

calement et reliés, en haut et en bas, par des tubes horizontaux pour la vapeur et pour l'eau. Ce n'est plus, dès lors, un générateur à vaporisation instantanée, mais une chaudière à tubes d'eau. Cette modification dans les idées, amenée par l'expérience, était, croyons-nous, intéressante à noter. La disposition de Roon paraît être le point de départ des chaudières postérieures de Clavières et Howard, dont il a été question ci-dessus.

La disposition précédente, sous sa forme primitive, présente une grande analogie avec un générateur patenté, en Angleterre, en 1824, au nom de John Theodore Paul, originaire de Genève. Ce générateur est formé d'un tube en cuivre ou autre métal de 3/16 de pouce, soit 4,5 mm de diamètre intérieur, c'est le même diamètre que dans le brevet précédent, enroulé en hélice et placé dans un fourneau; une pompe y injecte la quantité d'eau nécessaire pour chaque coup de piston. Pour une machine de 2 ch, il faut un tube du diamètre indiqué et de 150 pieds ou 45 m de longueur. On dit que Joseph Buchanan patenta, à la même époque, une disposition semblable aux États-Unis.

En 1824, également, un citoyen des États-Unis, du nom de Mc Curdy, patenta, en Angleterre, un appareil qu'il appelait *steam chambers*, consistant en un tube de 1,50 m de longueur, 0,15 m de diamètre à une extrémité et 0,075 m du milieu à l'autre extrémité, fermé par le gros bout et recourbé à angle droit sur deux tiers de sa longueur *(fig. 68)*. Un ou plusieurs de ces éléments étaient disposés dans un fourneau avec la longue branche horizontale et la courte dressée verticalement. Un tube percé de trous pénétrait dans la partie renflée du tube. Celui-ci étant porté au rouge vif, on injectait de l'eau avec une pompe dans le tube intérieur. L'inventeur estimait qu'un élément semblable devait fournir la vapeur nécessaire pour une machine de 4 ch. L'expérience prouva, dit Galloway, ouvrage déjà cité, que la surface de chauffe était insuffisante. Le tube, d'abord rouge, noircissait rapidement et il sortait par l'extrémité de la partie verticale de la vapeur de plus en plus mélangée d'eau. Cette invention a été brevetée, en France, à la date du 1er décembre 1825, par Vernet et Gauvin, qui désignent les éléments sous le nom de *cônes*.

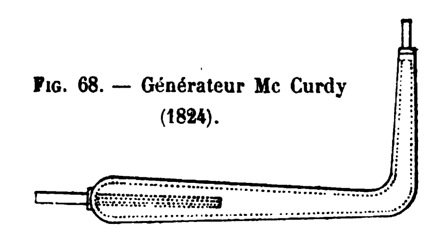


Fig. 68. — Générateur Mc Curdy (1824).

L'année suivante, 1825, le même Mc Curdy patenta, en Angleterre, une autre disposition, consistant dans l'emploi de cylindres creux disposés dans le sens horizontal dans un fourneau et chauffés très fortement. Chacun de ces cylindres contenait un autre cylindre concentrique ne laissant entre sa surface extérieure et la surface intérieure de l'autre qu'un espace annulaire très faible. Un certain nombre, cinq ou six, de ces tubes sont placés, dans le même fourneau, en deux ou trois rangées superposées, ils communiquent les uns avec les autres, et un de la rangée inférieure reçoit l'eau injectée par une pompe ; cette eau parcourt tout le circuit en se vaporisant et en se surchauffant. L'auteur paraît avoir eu pour objectif de créer un générateur à espaces pour ainsi dire *capillaires*, tout en se ménageant la possibilité d'un nettoyage par le démontage de l'ensemble et l'enlèvement des cylindres intérieurs. Il ne semble pas que ce système ait été mis à exécution.

Nous trouvons, toujours en 1825, une invention intéressante, dans le même ordre d'idées.

C'est un générateur (*fig. 69*) dû au docteur Ernst Alban, de Rostock (Mecklembourg), composé d'éléments dont chacun est constitué par un tube horizontal de 50 mm environ de diamètre et 1,20 m de longueur à la partie inférieure duquel s'ajustent huit tubes verticaux de 25 mm de diamètre et 0,75 m de longueur. Ces derniers plongent dans un bain d'alliage fusible contenu dans une auge en fonte de la longueur correspondante et d'à peu près 0,10 m de largeur. Un certain nombre de ces auges sont placées parallèlement dans un fourneau. Un tube de 25 mm de diamètre pénètre dans le tube horizontal de chaque élément et porte au droit de chaque tube vertical un petit trou. Une pompe injecte de l'eau par ces tubes, cette eau est lancée dans les tubes

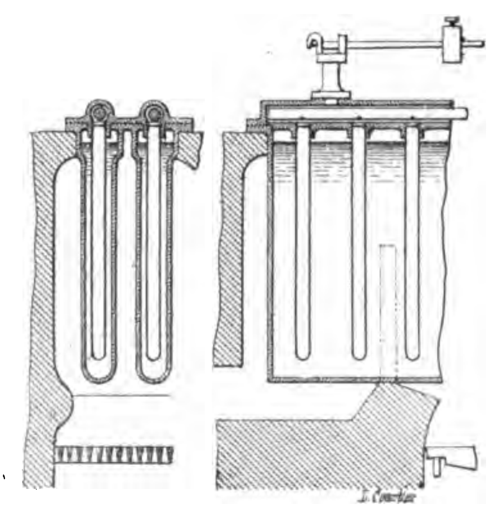


Fig. 69. — Générateur d'Alban (1825).

verticaux fortement chauffés par l'intermédiaire du bain métallique et se vaporise. L'alliage était composé de plomb et d'étain et sa température de fusion était comprise entre 200 et 250 degrés centigrades. Un régulateur basé sur la dilatation d'une colonne de mercure, agissant sur un registre, maintenait la température du fourneau à peu près constante. Il y a un brevet français d'importation d'Alban pour ce système, à la date du 21 décembre 1825.

L'auteur se proposait d'employer des pressions de 40 kg, comme Perkins. Il indique qu'une de ses machines, ayant un cylindre de 0,112 m de diamètre et 0,305 m de course, donnant 75 tours par minute, développait 4 ch en brûlant 2,40 kg de charbon par heure; cette dépense, très faible pour l'époque et pour une puissance si minime, était très probablement due à la forte surchauffe de la vapeur. L'auteur, dans une brochure écrite en 1843, dit avoir obtenu, avec une machine de 30 ch du même système, une consommation de 1,85 kg; cela n'a rien d'impossible, étant donnés les résultats obtenus dans ces dernières années avec des machines à vapeur surchauffée de faible puissance.

C'est à peu près à la même époque, 1826, que remontent les idées de Thomas Howard, basées sur le même principe, mais présentées sous une forme un peu différente et qui subirent également les épreuves de l'expérimentation sur une échelle sérieuse. Cet inventeur employait un bain de mercure placé dans un vase à fond ondulé pour présenter plus de surface au feu. Ce bain métallique, chauffé de 200 à 250 degrés centigrades était recouvert d'une feuille de tôle mince. Une pompe injectait, par l'intermédiaire d'une pomme d'arrosoir, la quantité d'eau nécessaire pour une cylindrée. On obtenait ainsi de la vapeur plus ou moins fortement surchauffée.

La figure 70 donne une idée générale de cette disposition.

Une partie intéressante du système consistait dans le mode de condensation de la vapeur qui avait agi sur le piston; cette vapeur était condensée par mélange avec de l'eau, laquelle était ensuite refroidie dans un réfrigérant à surface.

C'est le premier exemple d'application de la condensation *monhydrique*, proposée d'abord par Evans et qui fut reprise depuis Howard plusieurs fois, comme on le verra dans la partie de ce travail consacrée à la condensation par surface. Il est bon de dire que ce système de condensation avait été étudié par Howard pour fonctionner avec de la vapeur d'éther ou d'alcool

qu'il se proposait d'employer dans ses machines, mais, en réalité, il n'a jamais servi que pour la vapeur d'eau.

Un générateur du système Howard fut installé, en 1833, sur un vapeur de l'Amirauté anglaise du nom de *Comet*, muni d'une machine de Boulton et Watt. Ce navire, après des essais satisfaisants dans la Tamise, alla de Falmouth à Lisbonne; on constata que la consommation de combustible, qui était précédemment de 360 kg de houille par heure, la machine étant de la puissance nominale de 40 ch, était descendue à 113 kg de coke par heure. Un accident arrivé à l'appareil et dont la nature n'est pas spécifiée, décida l'Amirauté à suspendre ces essais.

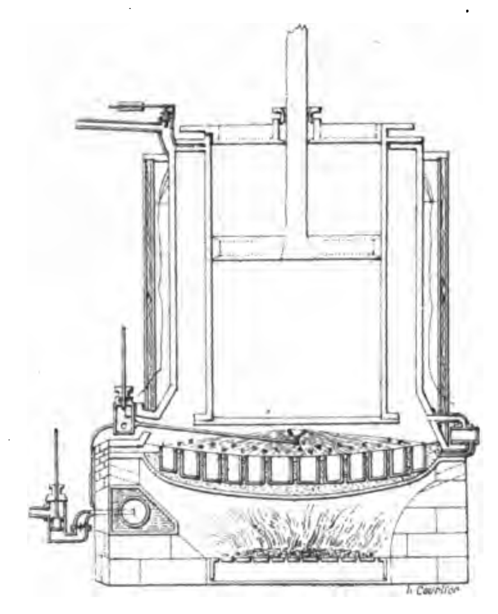


Fig. 70. — Générateur à bain de mercure d'Howard (1826).

L'inventeur ne se découragea pas par cet échec et renouvela les expériences à ses frais sur un autre navire, la *Vesta*. Une lettre d'Howard, insérée dans le *Mechanics Magazine*, de 1841, parle d'un troisième navire, le *Columbus*, sur lequel un générateur semblable aurait été installé. C'était un bateau à roues avec machine de 110 ch qui fut essayé à Liverpool en avril 1838; on brûlait un mélange de coke et d'anthracite : la consommation n'était, dit-on, que de 3 t par vingt-quatre heures, soit 125 kg à l'heure, ce qui était évidemment très peu. Howard invoque en faveur de son système : 1° la réduction de poids et d'encombrement amenée par la suppression de la chaudière; 2° la réduction considérable de la consommation de combustible; 3° la suppression des difficultés et de l'usure amenées par les dépôts; 4° la suppression de la fumée. On remarquera que ce dernier point ne vient pas directement du système, mais de l'emploi du coke.

Le système d'Howard mérite d'être rappelé comme ayant subi

une épreuve pratique dans laquelle il n'a échoué peut-être que par suite de circonstances indépendantes de sa valeur propre.

Becker, mécanicien à Strasbourg, prit, à la date du 30 novembre 1827, un brevet pour une machine à vapeur perfectionnée, brevet dans lequel figure la description d'une chaudière destinée à produire la vapeur instantanément et jamais plus que la machine n'en consomme, en introduisant par un jet continu de l'eau chauffée dans un cylindre, sous une pression réglée par une soupape, dans deux générateurs secs dont la matière ne puisse pas décomposer l'eau, et à recevoir la vapeur dans un récepteur enveloppé de feu afin d'augmenter encore sa température ou force élastique. Il ne semble pas y avoir là autre chose que dans plusieurs des brevets passés en revue, mais l'intérêt que présente ce brevet consiste en ce qu'on a voulu y voir le premier pris en France pour la surchauffe. Nous reviendrons en temps et lieu sur ce document.

Nous nous contenterons de mentionner simplement les essais plus récents de Boutigny, d'Isoard et de Testud de Beauregard; ce dernier employait une chaudière à bain d'étain dont le principe rappelait celui du générateur d'Howard. On est revenu dans ces dernières années, pour certaines applications, notamment pour l'automobilisme, à la production instantanée de la vapeur, en employant des dispositions d'appareils très ingénieuses, et on a obtenu des résultats remarquables.

Chapitre VII.

Chaudières de machines de navigation.

La disposition générale des chaudières de locomotives n'a pas varié, pour ainsi dire, depuis l'apparition de la *Rocket;* c'est facile à comprendre, parce que ces machines ont toujours fonctionné à haute pression et, si à l'origine les tensions n'étaient que de 3,5 kg, alors qu'elles atteignent aujourd'hui 15 et même quelquefois 16 kg, les formes et les moyens de consolidation dont on se servait ont été toujours suffisants pour donner aux chaudières la résistance nécessaire. Il n'en est pas de même des chaudières de navigation, où l'introduction de pressions de plus en plus

élevées a amené des modifications radicales dans la disposition des appareils par l'intervention de conditions spéciales qu'on ne rencontre pas dans les autres applications de la machine à vapeur.

En effet, un point capital dans cette application est la nécessité de réduire le poids et l'encombrement des appareils moteurs et ceux du combustible emporté. Un tonneau de combustible économisé vaut 25 ou 30 f peut-être, mais, pour des transports à grande distance, son remplacement par un tonneau de fret représente une somme beaucoup plus grande. Il en est de même d'une tonne gagnée sur le poids de la machine, de la chaudière et de l'eau contenue dans celle-ci. Or, l'emploi des pressions plus élevées a été une des sources les plus importantes de réduction dans la consommation de combustible, et l'introduction de systèmes appropriés de générateurs a amené des réductions de poids très importantes, tant pour le métal que pour l'eau contenue.

Nous nous trouvons donc conduits logiquement à classer les chaudières des machines de navigation suivant les pressions qu'elles ont à supporter et à les diviser en : 1° chaudières à basse pression; 2° chaudières à moyenne pression et 3° chaudières à haute pression.

1° Chaudières a basse pression.

Les premiers bateaux à vapeur qui aient fait un service quelque peu régulier ont été actionnés par des machines à basse pression. On possède peu de renseignements au sujet de leurs chaudières, d'abord parce que les descriptions sont rares, mais aussi parce que, chose assez singulière, les auteurs qui parlent des premiers bateaux à vapeur semblent se complaire dans des détails circonstanciés sur les coques et sur les aménagements, et considérer comme d'importance très secondaire tout ce qui touche aux machines et surtout aux chaudières. Nous le ferons voir à plusieurs reprises.

Le premier bateau à vapeur construit par Miller et Taylor, et qui fit ses essais en octobre 1788, avait, dit Scott Russell, dans son ouvrage sur la navigation par la vapeur, publié à Édimbourg en 1841, une chaudière ayant le feu entièrement à l'intérieur; la machine n'avait qu'un cheval de puissance; il est dit

qu'on enleva la machine et la chaudière et qu'elles furent déposées dans la bibliothèque du château de Dalsminster où on les conserva longtemps comme objet de curiosité.

Le second bateau, la *Charlotte Dundas*, de Symington, dont la machine de 12 ch avait été faite à la fonderie de Carron, fut essayé en 1802; c'était un remorqueur avec roue unique à l'arrière; on doit signaler en passant, comme fait intéressant, que ce fut le premier bateau ayant la commande du gouvernail à l'avant. L'ouvrage, déjà cité, de Scott Russell, donne, à la page 199, une image de ce bateau; on voit les lignes de rivets de la chaudière qui paraît ainsi être en tôle clouée, mais le texte ne donne aucune indication sur le mode de construction de ce générateur; les machines de ces deux bateaux étaient à condensation et fonctionnaient à une pression très peu élevée.

Le bateau d'Henry Bell, la *Comet*, ainsi nommé à cause de la comète de 1811, année où il fut construit, fut mis en service le 1er janvier 1812; il paraît, d'après le dessin donné à la page 227 de l'ouvrage de Scott Russell, avoir eu une chaudière à tombereau contenue dans un foyer en maçonnerie, mais l'article sur la machine à vapeur de l'*Encyclopédie* de Rees, parue en 1819, dit : « La chaudière qui produit la vapeur est faite en fortes plaques de fer et le foyer est formé d'un tube intérieur en fer; la fumée, après avoir traversé deux ou trois contours de ce tube, s'échappe dans la cheminée, qui est un tuyau également en fer. »

De ce côté de la Manche, nous trouvons la chaudière de Desblancs, de Trévoux, dont nous avons parlé précédemment et qui constitue un simple essai.

Nous n'avons que peu de renseignements sur la chaudière du bateau de Fulton, le *Clermont*; les dessins qu'on possède montrent seulement la machine et quelquefois l'extrémité de la chaudière, mais c'est insuffisant pour permettre de reconnaître la disposition de celle-ci. On voit seulement que la cheminée se trouvait du côté de la porte du foyer. Il est indiqué, dans une communication de Haswell à l'*Institution of Naval Architects*, en 1877, que la chaudière du *Clermont* était contenue dans un massif de briques et qu'elle avait 6,10 m de longueur sur 2,44 m de largeur et 2,13 m de hauteur; il semblerait par là qu'elle appartenait au type wagon.

Nous possédons, en revanche, quelques renseignements sur le générateur du *Demologos* ou *Fulton 1er*, batterie flottante construite

sur les plans de Fulton pour la défense du port de New-York, lors de la guerre entre les États-Unis et l'Angleterre, qui se termina par le traité de Gand. Un croquis de l'ouvrage de Stuart, *Naval and Mail Steamers of the United States*, 1853, dont nous reproduisons (*fig.* 71) la partie relative à la chaudière, fait voir que celle-ci était une sorte de chaudière à tombereau à dessous concave posée sur de la maçonnerie. La longueur était de 6,60 m, la largeur de 3,60 m et la hauteur de 2,40 m (1). Le navire, qui était mû par une roue de 4,88 m de diamètre placée au centre dans une cavité ménagée dans la coque et actionnée par un cylindre unique incliné de 1,22 m de diamètre et 1,525 m de course, fit son premier essai, le 1er juin 1815, sans grand succès; il ne fit jamais de service et fut employé comme dépôt flottant après qu'on en eut retiré la machine et la chaudière. Il fut détruit le 4 juin 1829 par une explosion qui fit une cinquantaine de victimes et qu'on attribua à la malveillance, faute de pouvoir l'expliquer autrement.

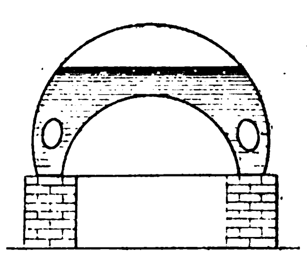


Fig. 71. — Chaudière du *Demologos*, de Fulton.

Georges Dodd, dans un ouvrage sur les bateaux à vapeur paru à Londres en 1818, décrit assez sommairement les sept vapeurs existant alors sur la Tamise. Celui dont il parle avec le plus de détails, le *Thames*, de 14 ch, qu'il amena, au printemps de 1815, de Glasgow à Londres, en doublant Land's End, avait une chaudière chauffée extérieurement dans un fourneau en maçonnerie armé de barres de fer plat; la chaleur rayonnait de ce massif de briques d'une manière insupportable : on brûlait environ deux tonnes et demie de charbon par vingt-quatre heures; la base de la cheminée rougissait presque. Une relation de ce voyage accidenté est donnée dans la *Revue Britannique* et reproduite dans le *Journal des Mines* de septembre 1815.

Dodd dit que la plupart des bateaux alors existant sur la Tamise avaient des chaudières en tôle rivée avec le feu entièrement entouré d'eau, sauf deux qui avaient des fourneaux extérieurs en maçonnerie. Ces chaudières portaient un tube de

(1) D'un rapport officiel, reproduit dans l'ouvrage de Stuart, indiquant que la température dans la chambre des machines, *entre les deux chaudières*, s'élevait à 48° C., on doit conclure que le *Demologos* avait deux de ces générateurs. Ils étaient en cuivre.

niveau d'eau en verre, un flotteur, deux soupapes de sûreté, dont l'une dans une boite fermée à clé, et un manomètre à mercure.

En 1817, le *Regent*, porteur d'une machine faite par Maudslay sur les dessins de Brunel, prit feu par suite de la communication au pont de la chaleur rayonnée par la cheminée et brûla entièrement. On dit que Boulton et Watt, pour prévenir ce danger, mirent depuis cette époque, autour de la base des cheminées de leurs bateaux, des enveloppes formant réchauffeur d'eau d'alimentation.

Dodd, dans sa déposition devant une Commission de la Chambre des Communes en 1817, explique que, si la forme circulaire assure plus de résistance contre la pression intérieure de la vapeur, on doit cependant préférer pour les chaudières de bateau la forme rectangulaire, parce que celle-ci donne le plus grand volume d'eau pour un espace déterminé.

Il considère que les carneaux intérieurs rectangulaires sont préférables à ceux de section circulaire, parce qu'ils dépensent moins de combustible.

Un Suédois du nom de Jernstedt amena d'Angleterre à Paris, en 1818, un bateau à vapeur qui resta plus d'un an amarré au quai Voltaire et fit l'objet d'un rapport à l'Institut de France. Ce rapport, daté du 13 septembre 1819, est signé de Prony, Sané, Dupin et Rossel. On le trouve reproduit dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 18e année, page 307. Il est très sommaire et dit que la machine était à deux cylindres actionnant des manivelles à 90 degrés et que la chaudière avait un fourneau intérieur entouré d'eau au-dessus et sur les côtés et se terminant par un tuyau dans lequel les gaz de la combustion circulaient avant d'arriver à la cheminée.

Jernstedt, indiqué comme habitant Dinan (Côtes-du-Nord), prit, en date du 20 novembre 1817, un brevet français où on trouve la description du bateau et de sa machine. Celle-ci présente des particularités très intéressantes sur lesquelles nous reviendrons dans une autre partie de ce travail.

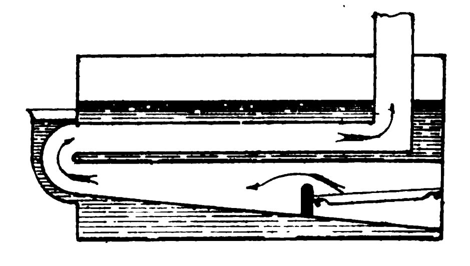
Le bateau qui fut amené à Paris n'est autre que celui portant le nom de *Eagle* (Aigle), dont parle Dodd dans l'ouvrage déjà cité; ce bateau, construit par Richard Wright à Yarmouth, avait deux coques entre lesquelles était placée la roue à aubes; sa vitesse était extrêmement faible. On crut que cela tenait au trop peu de puissance de la machine, on en mit une autre plus forte,

mais on n'obtint pas de beaucoup meilleurs résultats, sa vitesse ne dépassait pas 3 milles et demi à l'heure, alors qu'avec la même machine et une coque de forme ordinaire on aurait réalisé une vitesse double. Les dispositions insolites dont nous venons de parler figurant sur le bateau amené à Paris, on conclura facilement en faveur de son identité avec l'*Eagle*.

Comme nous le verrons dans une autre partie de ce travail, le brevet de Jernstedt doit être l'importation en France d'une patente anglaise de 1816 de Richard Wright, le constructeur de l'*Eagle*.

Dans un ouvrage intitulé : *Essai sur l'art de la navigation par la vapeur*, par G. Gilbert, Paris 1820, il est dit que le bateau *Margery*, depuis *Elise*, amené à Paris en 1815, avait une chaudière en fonte assemblée par boulons; le foyer intérieur et un tube allant du foyer à la cheminée étaient en fer; l'eau était chauffée à la température de 112 degrés centigrades.

Le remorqueur de la Compagnie Pajol, construit, en 1817, pour faire le service sur la Seine entre Paris et Rouen, avait une chaudière à deux corps à faces planes accolés et contenant chacun un foyer prolongé par un tube replié plusieurs fois sur lui-même dans les sens vertical et transversal (*fig.* 72). Il est à noter que les coudes à l'opposé du foyer et de la cheminée sortaient de la chaudière et étaient contenus dans une bâche servant de réchauffeur pour l'eau d'alimentation. L'ensemble des deux chaudières avait 4 m de longueur sur 1,80 m de largeur et 1,70 m de hauteur; le tube intérieur avait 0,70 m de diamètre au foyer et 0,25 m à la cheminée.



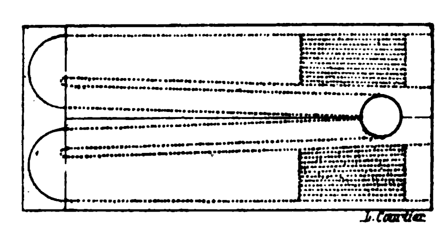


FIG. 72. — Chaudière d'un remorqueur de la Seine (1817).

Les chaudières dont nous venons de parler marchaient à des pressions ne dépassant pas 4 livres, soit 0,3 kg par centimètre carré au-dessus de la pression atmosphérique.

On ne tarda pas à adopter couramment les carneaux à section

rectangulaire disposés régulièrement dans les chaudières avec leurs parois parallèles. Tredgold indique que ces carneaux doivent avoir 1 pied de largeur sur 2 pieds de hauteur, qu'il faut mettre le plus de foyers possible pour la commodité du service et qu'il est utile de garnir de briques les parois intérieures des foyers pour que la combustion se fasse d'une manière plus parfaite. Cette disposition, utile à certains points de vue, mais moins recommandable à d'autres, ne paraît pas avoir jamais été mise en pratique, au moins régulièrement.

Le type de chaudières à carneaux, adopté d'une manière définitive dès 1820 environ, consiste (*fig. 73*) en une caisse en forme de parallélipipède avec ciel convexe contenant des foyers se continuant par des carneaux rectangulaires repliés sur eux-mêmes et aboutissant à la cheminée. On attribue ce type à Boulton et Watt et il fut ensuite adopté par tous les constructeurs.

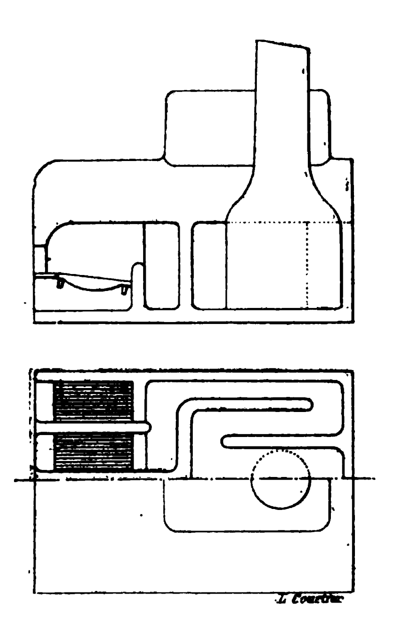


Fig. 73. — Chaudière à carneau (1820).

On construisit pendant vingt-cinq ans les chaudières marines exclusivement ou à peu près sur ce principe, mais avec une variété infinie dans les détails, variété inspirée non seulement par les idées personnelles des constructeurs, mais aussi par les dimensions des appareils qui, par le nombre plus ou moins grand des foyers, nécessitaient des formes appropriées.

Ainsi, la figure précédente représente une chaudière ayant tous les circuits à la même hauteur. La figure 74 représente une chaudière à six foyers en quatre compartiments ayant également les circuits à la même hauteur, mais se contournant dans le sens transversal au lieu de le faire dans le sens de la longueur.

Dans d'autres modèles, employés pour des navires ayant plus de creux, on superposait les circuits sur deux et même trois rangs, comme dans la figure 75, qui représente les chaudières

du paquebot *Don Juan*, construites en Écosse, vers 1838, pour la Compagnie Péninsulaire.

Lorsqu'on n'était pas gêné pour la hauteur, on allait jusqu'à

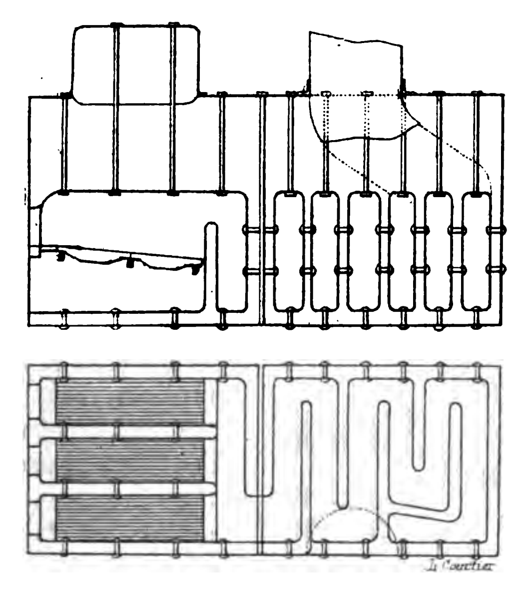


FIG. 74. — Chaudière à caniveaux transversaux (1835).

superposer les foyers pour en loger un plus grand nombre. C'est ce qu'on voit sur la figure 76, qui représente les chaudières des

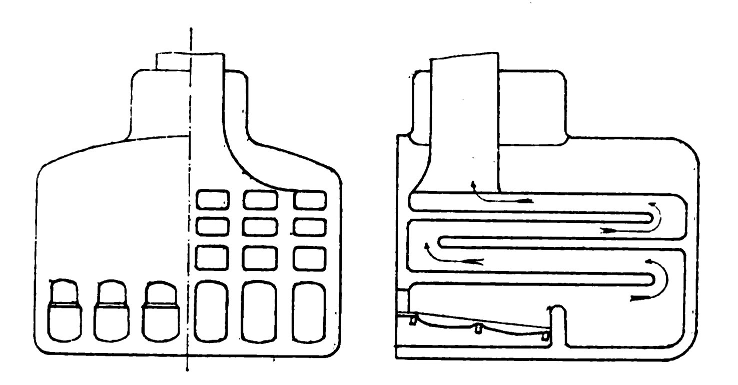
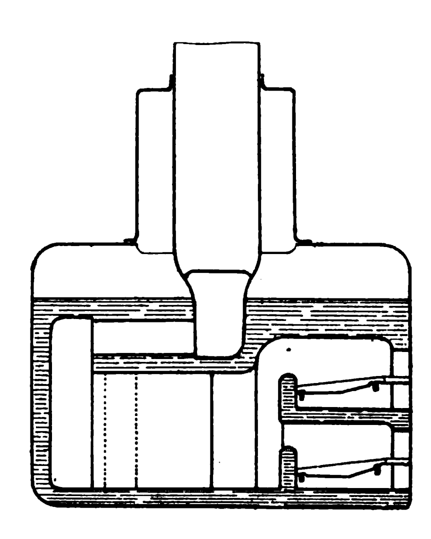


FIG. 75. — Chaudière du *Don Juan* (1838).

paquebots de 400 ch de puissance nominale, *Dee* et *Solway*, construits, en 1838, par Scott et Sinclair, à Greenock, pour la

West India Royal Mail Cy. Il y a trois chaudières avec dix-huit foyers; chaque chaudière pesait 28 000 kg; la surface totale de grille était de 38,6 m² et la surface de chauffe de 433 m².

Les chaudières à foyers superposés ont été quelquefois employées en Angleterre et aux États-Unis sur de grands navires, mais cette disposition est vicieuse; les foyers, et surtout les cendriers, sont généralement trop écrasés; les foyers superposés se gênent mutuellement au point de vue du tirage et leur service, qui nécessite un double parquet pour les chauffeurs, est très pénible. Ce système a disparu depuis longtemps. On en retrouve toutefois quelque chose aujourd'hui, mais dans une mesure très atténuée, avec les chaudières cylindriques à trois et quatre foyers, dans lesquelles les foyers latéraux sont plus élevés que ceux du centre.



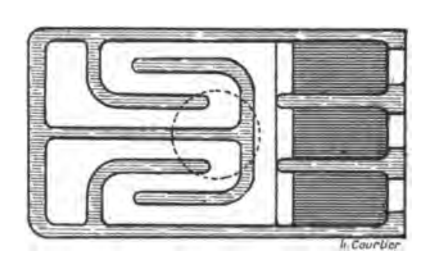


Fig. 76. — Chaudière à foyers superposés (1838).

Nous citerons, à titre d'exemple intéressant de chaudières à galeries de très grandes dimensions, celle du *Grant Britain*, navire à hélice construit, en 1842, sur les plans de Brunel. Ce générateur, marchant à une pression absolue de 1,50 kg, était en trois compartiments présentant deux façades, chacune avec douze foyers. L'ensemble avait pour base un carré de 10,065 m de côté; la hauteur était de 6,20 m; il y avait deux rangs de carneaux superposés, aboutissant à une cheminée centrale de 2,40 m de diamètre et 13,50 m de hauteur. La surface collective des grilles des vingt-quatre foyers était de 26,80 m². Cette chaudière (*fig.* 77) pesait 200 t et contenait 200 t d'eau; elle fournissait de la vapeur pour 1 000 à 1 200 ch indiqués.

Une particularité curieuse est que la chaudière était traversée, dans toute sa largeur au-dessus des carneaux, par deux tubes transversaux de 0,38 m de diamètre, assemblés de manière bien étanche avec les parois de la chaudière; ces tubes donnaient passage chacun à un tube intérieur de 0,305 m de diamètre, rivé aux murailles du navire, de manière à les entretoiser dans la partie occupée par la chaudière, où on ne pouvait établir de barrotage intermédiaire. Les faces verticales des carneaux étaient reliées entre elles et avec les parois latérales de la chaudière par des entretoises en fer rond de 33 mm de diamètre, placées à des intervalles de 0,38 à 0,51 m.

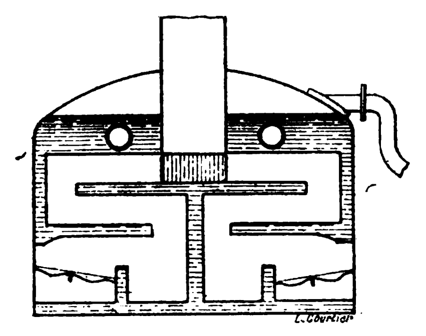


Fig. 77. — Chaudière du *Grant Britain* (1842).

En dehors de ces divers types de chaudières à carneaux qu'on

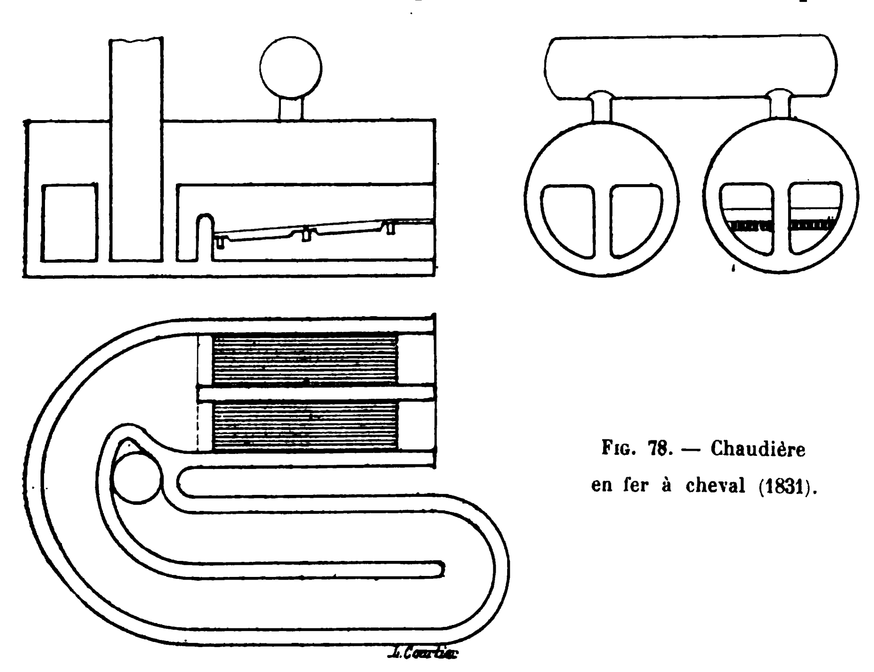
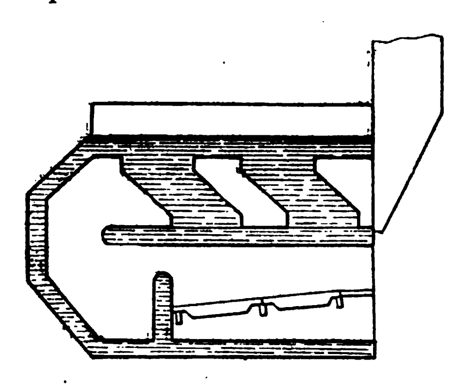


Fig. 78. — Chaudière en fer à cheval (1831).

peut appeler classiques, nous indiquerons trois modèles d'une certaine originalité, dont deux au moins n'ont peut-être été que

proposés, mais qu'il nous a paru intéressant de faire connaître.

Le premier, par ordre de date, est décrit dans un brevet français délivré, à la date du 25 février 1831, aux sieurs Meynard, Cuissard et Metois, à Nantes; c'est (*fig. 78*) une chaudière à enveloppe cylindrique en fer à cheval, contenant des foyers et carneaux à section limitée par un périmètre formé de faces planes et de faces circulaires. Bien que cette chaudière soit indiquée pour basse pression, il aurait été facile avec un système simple d'armatures de la faire servir pour des pressions plus élevées. Il a été employé des systèmes se rapprochant beaucoup de celui-ci, sur des remorqueurs anglais. Le brevet n'est cependant pas indiqué comme brevet d'importation.



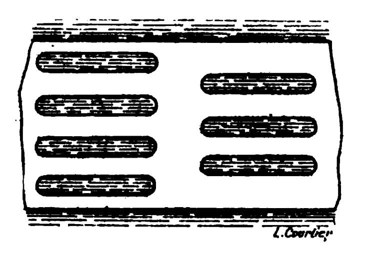


Fig. 79. — Chaudière à lame d'eau de Hallette et Turner (1838).

Un second système (*fig. 79*) fait l'objet d'un brevet de Hallette (d'Arras) et Turner, à la date du 9 octobre 1835; le générateur qui en fait l'objet est formé de carneaux superposés aux foyers, mais le point intéressant est que ces carneaux contiennent des lames d'eau verticales que les inventeurs appellent *tiroirs*, disposés en quinconce. Nous ne croyons pas que cette disposition ait été exécutée; elle valait cependant au moins autant que bien d'autres qui ont été essayées. Cette chaudière est indiquée comme pouvant servir pour les bateaux et pour les locomotives.

Nous terminerons par une chaudière d'une disposition élégante brevetée par Gibon et Suser à Nantes, à la date du 16 mars 1846. On voit (*fig. 80*) que l'enveloppe à section curviligne contient un tube en U, à section également curviligne, mais renflée par endroits; le tout affecte la forme générale de la chaudière demi-fixe de Trevithick.

Le brevet n'est pas indiqué comme brevet d'importation, et

cependant nous avons vu dans un journal anglais le dessin de la machine d'un remorqueur à laquelle était jointe une chaudière

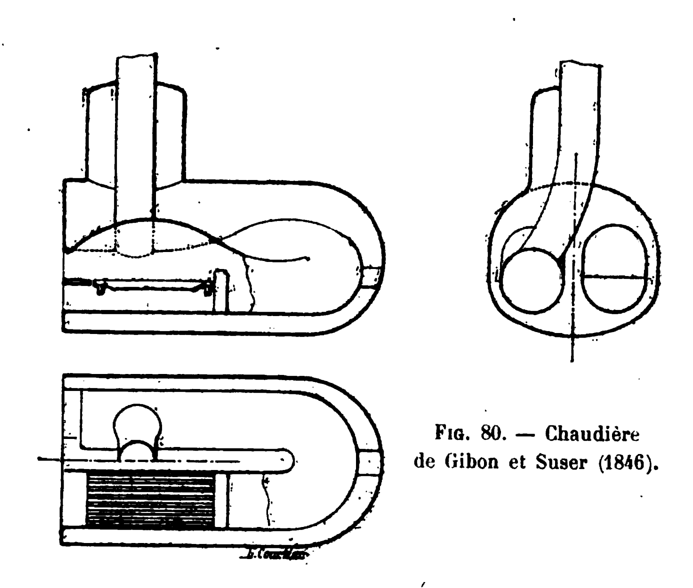


Fig. 80. — Chaudière de Gibon et Suser (1846).

absolument semblable à celle-ci. Il est donc certain que ce système a été exécuté.

Il n'est d'ailleurs pas sans quelque analogie avec la chaudière représentée figure 81 qui, datant à peu près de la même époque, a été très employée dans les remorqueurs construits en Écosse. Elle est attribuée à la maison Inglis de Glascow.

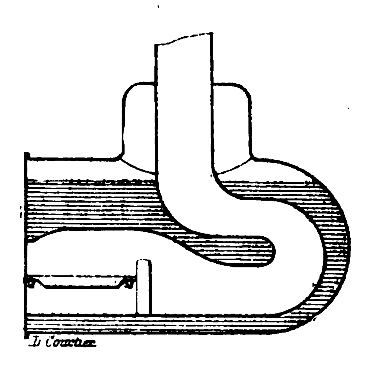


Fig. 81. — Chaudière de remorqueur anglais (1848).

Nous ne saurions omettre de dire un mot des tentatives faites pour abaisser encore le taux déjà si faible des pressions par l'emploi du système dit inexplosible ou à sous-basse pression, dû à Gache, de Nantes, qui en fit l'objet d'un brevet, du 16 novembre 1836, au nom de La Rochejaquelein et Gache. Ces chaudières qui furent employées sur plusieurs bateaux de la Loire

(fig. 81 bis), étaient à faces planes et formées de feuilles de cuivre de 1 à 2 mm d'épaisseur, brasées ensemble et raidies par des nervures creuses. Un tube d'assez gros diamètre descendait à l'intérieur jusqu'à une faible distance au-dessous du niveau de l'eau et s'élevait verticalement à une hauteur faisant équilibre à la pression effective qui ne dépassait pas 1/10e d'atmosphère. S'il se produisait un excès de pression, l'eau montant par ce tube découvrait la partie inférieure et la vapeur s'échappait. On a généralement trouvé qu'il y avait là un excès de précaution de nature à amener, par la brusque mise hors de service de la chaudière, des dangers peut-être plus graves que

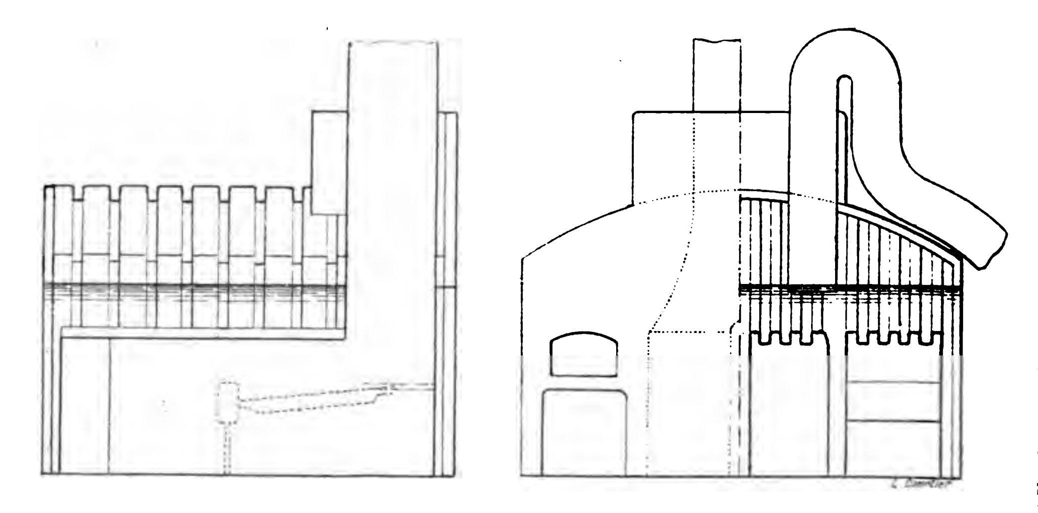


Fig. 81 bis. — Chaudière à sous-basse pression de Gache, de Nantes (1836).

ceux qu'on se proposait de conjurer. C'est ce que disent Mathias et Callon, à la page 13 de leurs *Études sur la Navigation fluviale par la vapeur*, Paris 1846. Les bateaux dont nous venons de parler appartenaient à une Compagnie dite des *Inexplosibles de la Loire*; ils reçurent ensuite des chaudières ordinaires à basse pression.

Aux États-Unis, on resta longtemps fidèle à la basse pression, non seulement, ce qui était naturel, pour la navigation maritime, mais aussi pour la navigation fluviale, sauf dans les eaux de l'Ouest. Marestier, dans son ouvrage sur *les Bateaux à vapeur aux États-Unis d'Amérique*, Paris 1824, dit que les machines des bateaux d'Amérique qu'il a visités sont presque toujours à pres-

sion simple, c'est-à-dire que l'excès de la force de la vapeur sur celle de l'air extérieur surpasse rarement la pression atmosphérique. Il résulterait de cette singulière définition que la pression absolue serait de 2 atm; ce n'est certainement pas ce qu'a voulu dire l'auteur, qui parle plus loin de pression absolue de 1,25 kg au plus. Il faut dire que Marestier, bien qu'Ingénieur de la marine, était peu familier avec les machines, ce qui n'a rien d'étonnant à l'époque. Il est bref sur les chaudières et se borne à en indiquer la longueur, la largeur et la hauteur; nulle part on ne trouve, dans son ouvrage, mention des éléments tels que surface de grille ou de chauffe. Les chaudières à basse pression étaient à carneaux toujours à section circulaire, rappelant celles des premiers bateaux de la Seine dont nous avons parlé

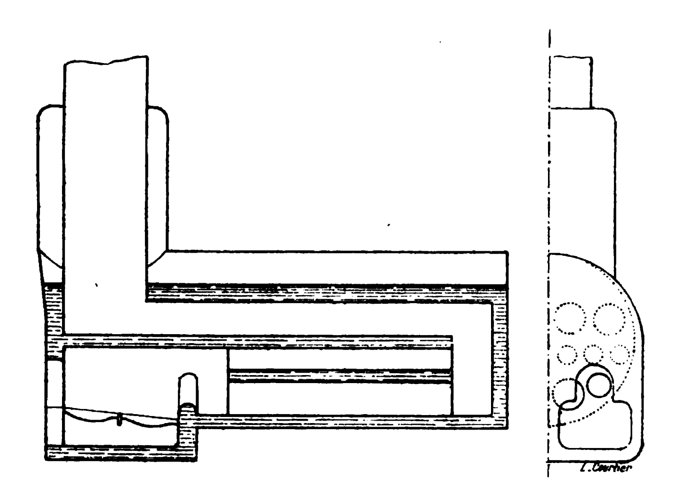


Fig. 82. — Chaudière américaine à basse pression (1825).

plus haut. La figure 82 donne une idée de la disposition de ces appareils généralement chauffés au bois. Nous reviendrons sur les chaudières américaines à propos des générateurs à moyenne pression, qui ne tardèrent pas à venir en usage.

Dans les chaudières dont nous nous occupons dans ce chapitre, la pression était le plus souvent de 1,30 kg et exceptionnellement de 1,40, soit 4 et 6 livres par pouce carré au-dessus de la pression atmosphérique; on était cependant obligé, surtout avec cette dernière pression, de placer des tirants et des armatures pour consolider les faces planes de l'enveloppe, des foyers et des carneaux. Ces générateurs étaient lourds et encombrants.

L'ouvrage de Campaignac, *État actuel de la Navigation par la vapeur*, Paris 1843, donne un tableau des chaudières à carneaux pour différentes forces. On y trouve que, pour 50 ch de force nominale, la surface de chauffe ressort à 1,26 m² par cheval et la surface de grille à 0,054. Les mêmes valeurs pour 450 ch, la plus grande puissance réalisée alors en France, sont de 0,93 et 0,05 m². Si on admet que la dépense par cheval indiqué (le nombre de chevaux indiqués étant à cette époque à peu près du double du nombre de chevaux nominaux) était de 20 kg d'eau et 3,0 de combustible, on est conduit à admettre une production de vapeur de 30 kg par mètre carré de surface de chauffe et une combustion de 50 kg de charbon par mètre carré de grille et par heure.

Quant au volume des générateurs, on peut compter en moyenne 0,28 m³ par cheval indiqué. Les tableaux de l'ouvrage de Campaignac donnent, par exemple, $3{,}16 \times 4{,}06 \times 2{,}13 = 27{,}3$ m³ pour 50 ch nominaux ou 100 indiqués, soit 0,273 m³ par cheval indiqué, et $12 \times 7{,}5 \times 29 = 261$ m³ pour 450 ch nouveaux ou 900 indiqués, soit 0,290 m³ par cheval indiqué. Les variétés dans les dispositions expliquent ces différences et même de bien plus considérables.

Le poids peut être estimé en moyenne à 150 kg pour la chaudière et 100 kg pour l'eau par cheval indiqué, les valeurs extrêmes étant, d'une part, $120 + 90 = 210$ et, de l'autre, $180 + 120 = 300$.

Les chaudières à carneaux possédaient, il ne faut pas l'oublier, à côté de ces défauts, une qualité précieuse à la mer; elles étaient nettoyables, parce qu'on pouvait, par des regards ouvrant à l'extérieur, arriver à enlever les dépôts qui, d'ailleurs, n'étaient ni très abondants, ni bien adhérents, à cause de la température relativement peu élevée de l'eau; de simples extractions suffisaient pour maintenir l'eau à un degré modéré de saturation et pour prévenir la formation de dépôts gênants. Ces générateurs avaient une longue durée, nécessitaient peu d'entretien et ne donnaient pas lieu à des fuites gênantes ou dangereuses.

Ces qualités expliquent pourquoi certaines Compagnies de navigation sont restées longtemps fidèles à l'emploi des chaudières à carneaux. Ainsi, la Compagnie Cunard faisait encore, en 1850, construire ses paquebots de 800 ch *Asia* et *Europa*, avec des chaudières à carneaux *(fig. 83)*, faites, il est vrai, avec quelques modifications pour leur faire supporter des pressions de

2 kg; ce ne fut qu'en 1852 que cette Compagnie se décida à appliquer les chaudières tubulaires sur son nouveau bateau l'*Arabia*.

On peut citer également la Société Hambourgeoise-Améri-

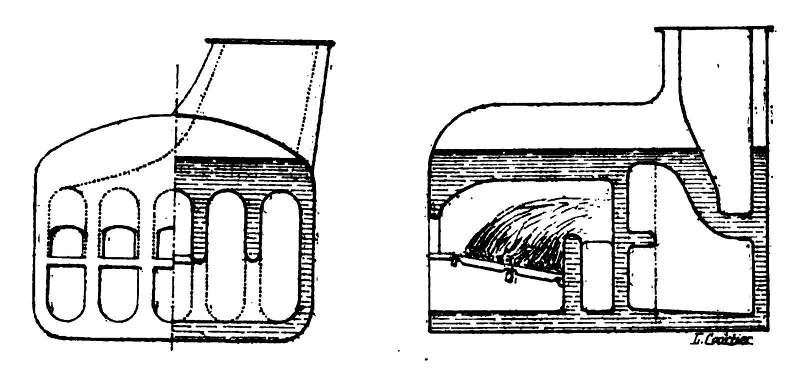


Fig. 83. — Chaudières des paquebots Cunard (1850).

caine, qui employait encore des chaudières à carneaux (*fig. 84*) sur ses premiers paquebots *Borussia* et *Hammonia*, construits en 1854 par Caird.

Comme ce constructeur était le fournisseur attitré de la Compagnie *Royal Mail*, qui resta longtemps attachée à l'emploi de ce

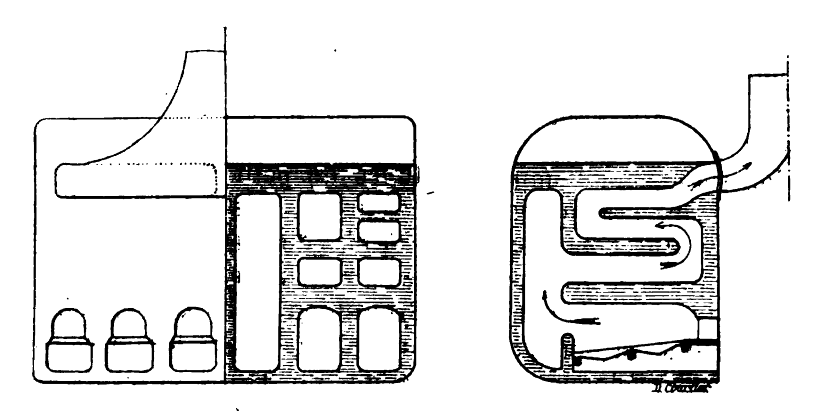


Fig. 84. — Chaudières des paquebots de la Compagnie Hambourgeoise-Américaine (1854).

genre de chaudières, on peut croire que cet exemple ne fut pas sans influence sur le choix de la Compagnie allemande. Ces générateurs fonctionnaient à une pression de 2 kg absolus, soit 1 kg ou 14 livres au-dessus de la pression atmosphérique.

2° CHAUDIÈRES A MOYENNE PRESSION.

Nous considérerons comme moyennes pressions les tensions comprises entre 7 et 28 livres par pouce carré, soit 1,50 à 3,00 kg de pression absolue par centimètre carré.

On sait que la quantité de chaleur contenue dans la vapeur croît très peu avec la pression. Entre les tensions de 1,50 et 3,00 kg que nous venons d'indiquer, la différence du calorique contenu dans la vapeur n'est que de 7,0 calories par kilogramme, soit moins de 12/1 000ᵉ, alors que la pression est devenue double. Les praticiens ne commettaient donc pas une erreur appréciable lorsqu'ils admettaient, il y a une soixantaine d'années, que la quantité de chaleur était la même pour former de la vapeur aux différentes tensions. L'avantage à recueillir des pressions plus élevées était donc entièrement gratuit. On fut ainsi conduit à porter les pressions successivement de 1,30 à 1,50 et 1,75 kg, ce qu'on pouvait faire sans renoncer à l'emploi très commode des chaudières à carneaux ; il suffisait de quelques consolidations sous forme de cornières, de tirants et d'entretoises pour donner à celles-ci la résistance nécessaire. Mais, lorsqu'on voulut porter les pressions à plus de 2 kg, il fallut se résigner à changer radicalement la disposition des chaudières et arriver à l'adoption du système tubulaire déjà appliqué depuis peu sur les chemins de fer.

Non seulement l'emploi de tubes de petit diamètre permet d'obtenir une grande résistance contre la pression de la vapeur, pour la plus grande partie de la surface de chauffe, de sorte qu'il ne reste plus à s'occuper que de la résistance des foyers contre cette pression, mais encore la disposition du faisceau tubulaire, qui constitue la plus grande partie de cette surface, permet de donner à l'enveloppe une forme qui lui assure une résistance propre ; il en est de même aussi jusqu'à un certain point pour les foyers. D'autre part, l'emploi de tubes de faible diamètre rend facile la création d'une surface de chauffe relativement considérable sous un faible volume. On voit donc que l'introduction des tubes dans la construction des chaudières a permis de faire des générateurs de poids et d'encombrement réduits et en même temps susceptibles de supporter des pressions plus

élevées. Cette introduction a été un progrès considérable dans la navigation à vapeur.

On dit que Stevens aurait fait, en 1832, aux États-Unis, une chaudière tubulaire marine à retour de flamme dont le corps avait des parois planes sur les côtés et le fond et circulaires sur la partie supérieure *(fig. 85)*; c'est un modèle qui a été longtemps très employé aux États-Unis.

C'est à peu près à la même époque, 1834, que Philippe Gengembre, alors directeur de l'établissement d'Indret, y exécuta, pour l'aviso à roues de la marine royale *le Vautour* de 160 ch, un jeu de chaudières tubulaires. On trouve sur ces générateurs de très vagues renseignements tant dans la *Publication industrielle* d'Armengaud, tome II, que dans le *Dictionnaire de Marine à vapeur* de l'amiral Paris, première édition, page 118. Heureusement nous avons pu trouver, au *Portefeuille* du Conservatoire des Arts et Métiers, des dessins assez complets des chaudières du *Vautour*. Ces chaudières, entièrement en cuivre et se rapprochant du type des locomotives, étaient au nombre de quatre, divisées en deux groupes formés chacun de deux générateurs et d'un réservoir de vapeur *(fig. 86 et 86 bis)*. Les foyers étaient à parois partie planes, partie curvilignes, et avaient à la suite des tubes les uns de 0,15, les autres de 0,25 m de diamètre aboutissant à une boite à fumée intérieure d'où les gaz revenaient à la cheminée par un gros conduit de 0,50 m de diamètre communiquant avec un autre placé à angle droit et traversant le réservoir de vapeur; celui-ci était relié au corps de la chaudière par des communications extérieures.

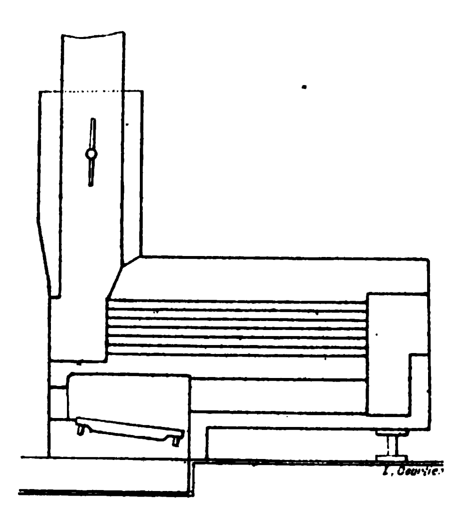


Fig. 85. — Chaudière tubulaire de Stevens (1832).

Ces chaudières marchaient à 2 kg de pression absolue; on leur reprochait de ne pas absorber assez de chaleur dans les tubes et de rougir parfois les culottes de cheminée; elles fonctionnèrent

cependant longtemps et ne furent abandonnées que parce qu'à cette époque les extractions étaient mal dirigées et qu'on les laissa s'encombrer de sel. On pourrait aussi viser leur disposition très vicieuse au point de vue de la circulation de l'eau, question

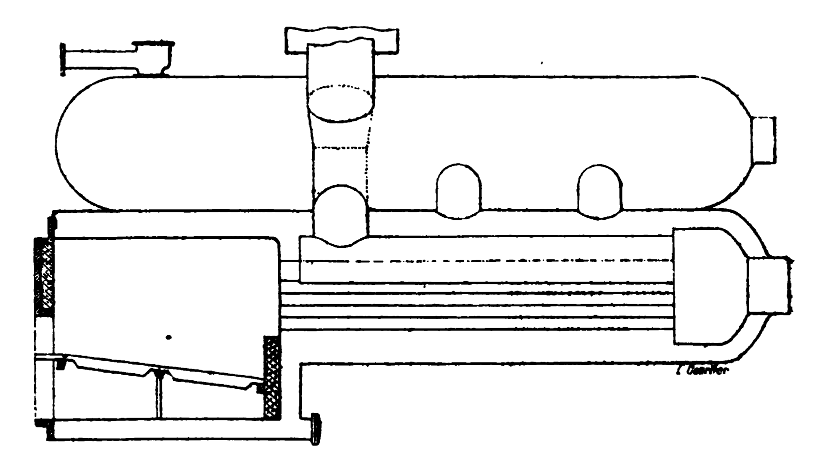


FIG. 86. — Chaudières tubulaires du *Vautour*, par Ph. Gengembre (1834).

dont on ne se préoccupait nullement, parce qu'il n'y avait pas à en tenir compte avec les chaudières à carneaux où cette circulation se faisait parfaitement; or le cas était tout différent. Quoi qu'il en soit, le type du *Vautour* ne fut pas reproduit et l'emploi des chaudières tubulaires en resta là pour une dizaine d'années dans la marine de l'État, et cela d'autant plus que, Gengembre ayant peu après quitté la direction d'Indret, on peut supposer que ses idées sur les chaudières le suivirent. Il eût cependant fallu peu de chose pour faire des chaudières du *Vautour* un excellent type de générateurs à moyenne et même à haute pression.

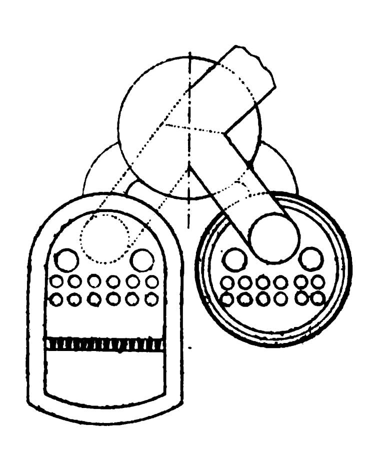


FIG. 86 bis. — Chaudières du *Vautour*.

Campaignac, dans son ouvrage déjà cité, paru en 1843, ne dit pas un mot des chaudières tubulaires qui pourtant étaient déjà en usage depuis plusieurs années sur les rivières; Callon et Ma-

thias, dans leur ouvrage de 1846 dont il a déjà été question, entrent dans de grands détails à ce sujet ; nous y reviendrons à l'occasion des chaudières à haute pression.

Il est singulier que la chaudière tubulaire à retour de flamme ait été proposée au début comme chaudière fixe. Nous faisons ici allusion au brevet de Duclos du 11 avril 1838 dont nous avons déjà parlé, et qui décrit une chaudière analogue aux types marins récents. Nous ne citons ce fait qu'à titre de curiosité.

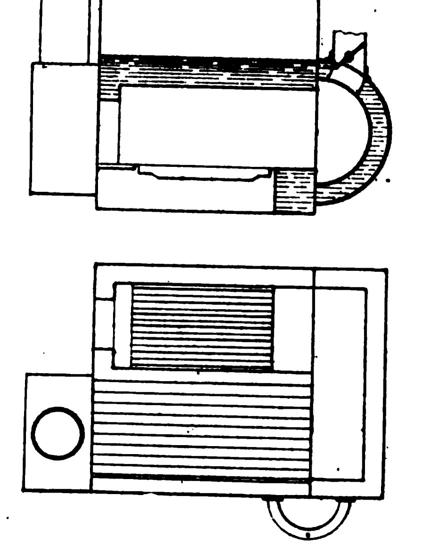
John Bourne, dans un ouvrage intitulé *Recent improvements in the Steam Engine*, Londres 1869, s'attribue le mérite d'avoir fait la première chaudière tubulaire marine en 1838 ; il en donne un dessin représentant sa chaudière en coupe transversale ; on y voit deux faisceaux tubulaires au-dessus de deux foyers dont l'enveloppe est partie plane partie curviligne. Cette chaudière ressemble beaucoup à celles qu'on a faites depuis. L'auteur ne donne aucune indication sur les circonstances dans lesquelles ce générateur aurait été fait. Nous ne serions pas étonné que ce ne fût qu'un simple projet comme quelques-unes des inventions de Bourne ; cette supposition se base sur ce fait que, dans son grand ouvrage sur la *Steam Engine*, paru en 1846, où il traite très longuement la question des chaudières marines, il ne signale pas l'antériorité dont il parle en 1869. En tout cas, les chaudières dont il vient d'être question ne diffèrent pas sensiblement en principe de celle de Stevens antérieure de plusieurs années, si nous en croyons Thurston.

Bourne, dans son ouvrage de 1869, dit que John Penn a employé pour la première fois la chaudière tubulaire sur l'*Hydra*, sous une forme assez singulière dont il donne un croquis ; c'était une chaudière à enveloppe circulaire avec des foyers également circulaires et des tubes placés en travers ; ce croquis est très incomplet et laisse difficilement comprendre l'arrangement qui d'ailleurs, ne paraît avoir aucune raison d'être avec les pressions très peu élevées de l'époque.

Nous trouvons, à la date du 27 août 1840, un brevet français d'importation au nom du comte Eugène de Rosen pour une chaudière tubulaire. Cette chaudière *(fig. 87)* a le faisceau tubulaire à côté du foyer et à la même hauteur ; la communication entre les deux se fait par une boite à enveloppe d'eau ; l'auteur prévoit sur cette boîte une cheminée circulaire pour l'allumage ; les faces planes du foyer sont représentées entretoisées avec les faces correspondantes de l'enveloppe. Ce genre de chaudière a

été très employé surtout pour les petits bâtiments où on manque de hauteur pour mettre les tubes au-dessus. Ce qui est intéressant dans ce brevet, c'est que le comte de Rosen étant, comme on sait, le représentant en Europe de John Ericsson qui était déjà alors aux États-Unis, on doit, pensons-nous, reporter au grand Ingénieur suédois la paternité de ce brevet.

On attribue quelquefois au constructeur anglais Seaward l'idée



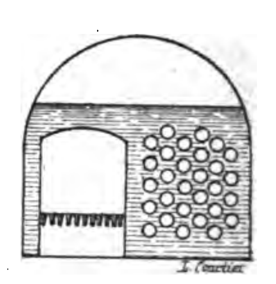


Fig. 87. — Chaudière tubulaire de Rosen (Ericsson) (1840).

de placer les tubes au-dessus des foyers; cela nous semble peu vraisemblable, étant donné que cette disposition avait été employée par Stevens plusieurs années avant.

Cette revendication en faveur du constructeur anglais se baserait sur le fait qu'il aurait muni, en 1839, le vapeur de la Tamise *Topaze*, d'une chaudière tubulaire à retour de flamme. Mais on trouve, dans le *Mechanic'sMagazine*, du premier semestre de 1844, page 109, une lettre du constructeur James Napier, de Glasgow, disant que son frère William et lui ont construit, depuis 1830, des chaudières contenant des tubes de 37 à 270 mm de diamètre à une, deux et même trois rangées. Ces chaudières auraient été proposées par eux en 1832 à l'Amirauté anglaise qui n'aurait, naturellement, donné aucune suite à cette offre.

On trouve, dans les curieux articles publiés en 1891 par l'*Engineer*, sous le titre *Compound Engines sixty years ago*, un exemple

de chaudières tubulaires à retour de flamme indiqué comme datant de 1839-40 : ce sont celles du *Batavia*, vapeur de la marine coloniale néerlandaise construit à Feyenoord. Il y a quatre chaudières à deux foyers chacune (*fig. 88*) adossées, avec la cheminée au centre. Il y a un double retour de flamme. Il est intéressant de noter que le *Batavia* avait une machine compound à deux cylindres inclinés de Roentjen.

Quelle que soit la date précise de l'introduction de la chaudière tubulaire en Angleterre, il y a un fait certain c'est qu'elle s'y

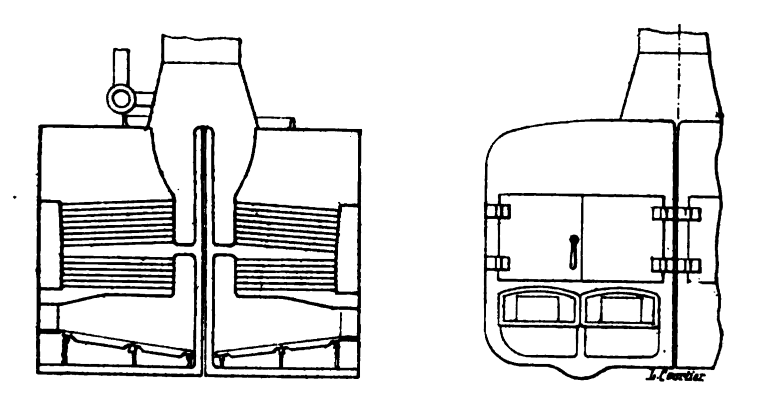


Fig. 88. — Chaudières tubulaires du *Batavia* (1889).

répandit très rapidement, car l'ouvrage de Bourne, de 1846, donne les dessins d'au moins une douzaine de chaudières tubulaires marines de modèles différents, remontant nécessairement déjà à quelques années.

Il semble que la première application importante que fit la marine royale anglaise de la chaudière tubulaire remonte à 1843 et fut faite sur la frégate à roues *Terrible* dont l'appareil moteur de 800 ch nominaux, développant 1 850 ch indiqués sur les pistons, fut établi par Maudslay ; il y avait quatre chaudières avec tubes au-dessus des foyers, deux à l'avant et deux à l'arrière des machines, avec quatre cheminées, une par chaudière ; il y avait ngt-quatre foyers ; la surface totale de grille était de 40,44 m² t la surface de chauffe de 1 181.

Une des plus importantes applications dans la marine mar-ıande parait avoir été celle qui fut faite en 1844 au *Great Wes-rn* de 400 chx nominaux ; ce navire qui fut, comme on sait, un s premiers transatlantiques, avait des chaudières à galeries

ayant 18,80 m² de grille et 357 m² de surface de chauffe; ses chaudières pesaient 223 tx et contenaient 81 d'eau. On les remplaça par des chaudières tubulaires, ayant, pour la même puissance nominale, 13,50 m² de grille et 665 m² de surface de chauffe. Il y avait (*fig. 89*) un double retour de flamme, comme dans le *Batavia*, ce qui explique l'énorme étendue de la surface de chauffe. Ces chaudières pesaient seulement 160 t et contenaient 150 m³ d'eau.

Voici quelques chiffres comparatifs entre les deux appareils évaporatoires :

	Chaudières à galeries.	Chaudières tubulaires.
Surface de grille par cheval nominal. .	0,047	0,034
Surface de chauffe — . .	0,892	1,66
Consommation par heure — . .	3,77 kg	2,54

Il est juste de dire que la consommation indiquée pour les chaudières à galeries est celle réalisée avec ces générateurs arrivés à la limite de l'usure et prêts à être remplacés; les chaudières à l'état de neuf avaient donné des consommations de 2,55 kg, c'est-à-dire identiques à celles des chaudières tubulaires. On remarquera que la disposition de ces dernières était très vicieuse, le double retour de flamme refroidissait la fumée à tel point que le tirage était tout à fait insuffisant. Il fut question d'employer des ventilateurs soufflant dans les cendriers clos. Bourne dit qu'il aurait été préférable d'abaisser le niveau de l'eau dans les chaudières, de manière à faire agir le retour supérieur comme appareil de surchauffe. Cette indication, remarquable pour l'époque, se trouve à la page 64 du *Treatise on Steam Engine*, édition de 1846.

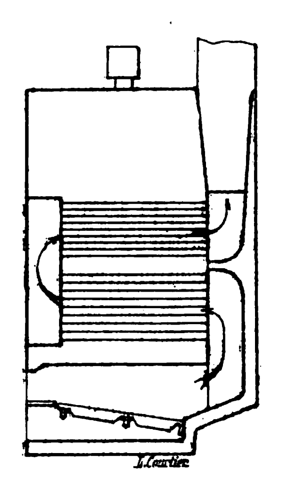


FIG. 89. — Chaudières tubulaires du *Great Western* (1844).

Comme nous l'avons dit plus haut, les divers types de chaudières tubulaires à retour de flamme ne diffèrent que par les détails, tels que la forme des enveloppes et des foyers. On a

souvent cherché à donner aux enveloppes des formes partiellement circulaires pour avoir plus de résistance; un exemple intéressant est celui des générateurs du *Braganza*, construits en 1844, par Bury, Curtis et Kennedy, à Liverpool *(fig. 90)*; il y avait quatre chaudières accolées, avec une cheminée par paire; les enveloppes sont formées de deux portions de cylindre qui se raccordent, et des tirants transversaux sont disposés à l'intersection.

Les chaudières du *Chaptal*, construites en 1846 par Cavé, à Paris, avaient une disposition très analogue. Il en existait un dessin lavé à l'effet dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers; il n'y est plus, de sorte que nous ne pouvons maintenant

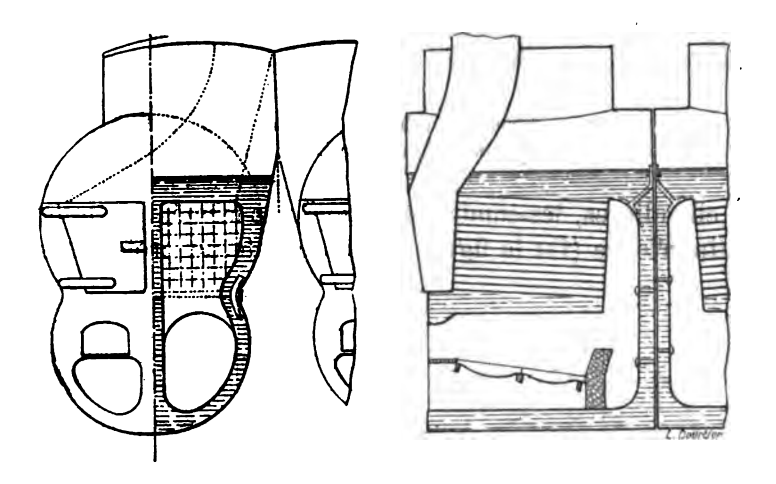


Fig. 90. — Chaudières tubulaires du *Braganza* (1844).

nous en rapporter qu'à nos souvenirs. Puisque nous parlons de Cavé, il est bon de rappeler que Lemaître, beau-frère de ce constructeur et directeur de ses ateliers de chaudronnerie de La Chapelle, avait fait, dès 1844, des expériences sur la combustion et la vaporisation avec une chaudière tubulaire marine ayant quarante tubes de 95 mm de diamètre; ces expériences sont rapportées dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de 1846, p. 8. Lemaître avait pris un brevet français à la date du 5 janvier 1844 pour des dispositions de chaudières tubulaires présentant un certain intérêt.

L'enveloppe, partiellement circulaire, a été employée sous des formes variées; la figure 91 représente une chaudière d'un ba-

teau de rivière construite à Seraing; la figure 92, celle également d'un bateau de rivière faite par Cochot, à Paris; dans ces

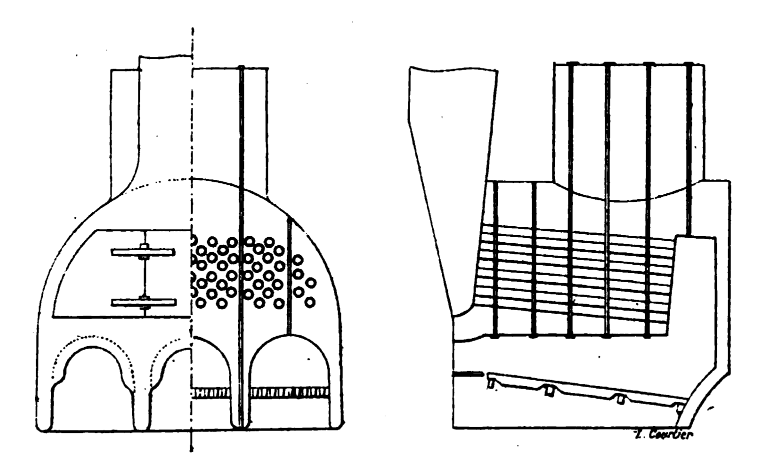


Fig. 91. — Chaudière tubulaire d'un bateau du Rhin, par la Société John Cockerill (1852).

deux chaudières, les cendriers ne sont pas fermés par une lame d'eau inférieure (1); la figure 93 représente un projet de chau-

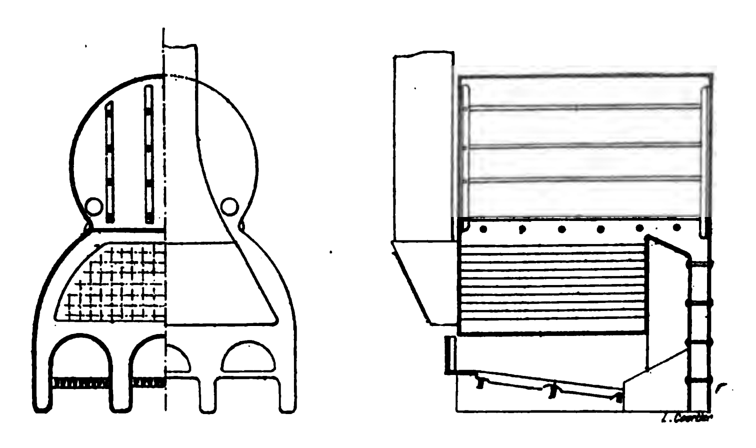


Fig. 92. — Chaudière d'un bateau de rivière par Cochot (1846).

dière à tubes courbes proposé par Gache en 1849, nous ignorons s'il a été exécuté; mais il nous a paru intéressant à faire

(1) Dans son Traité des chaudières à vapeur marines, M. Bertin semble attribuer cette disposition à l'Ingénieur de la Marine Joessel; elle est bien antérieure, car la chaudière de la figure 92 remonte à 1846.

connaître. Les parois latérales de la chaudière et du foyer étaient planes et entretoisées ensemble; enfin, la figure 94 représente une chaudière de bateau de rivière des États-Unis, qui remonte aux premiers temps des chaudières tubulaires. On la trouve, en effet, décrite dans l'ouvrage intitulé : *Des machines à vapeur aux États-Unis*, publié à Paris en 1842. Cet ouvrage étant la traduction des ouvrages américains de Hodge, Renwick et de l'ouvrage anglais de D. Stevenson, on doit admettre que cette chaudière est de quelques années antérieure à 1842. Elle est indiquée comme appartenant au vapeur *New-York*; la grille est énorme, elle a 6,50 m² de surface; la surface de chauffe consistant principalement en 250 tubes de 63 mm de diamètre, est de 158 m².

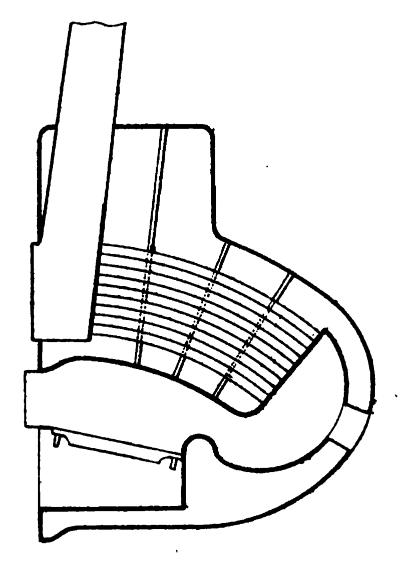


Fig. 93. — Projet de chaudière par Gache (1851).

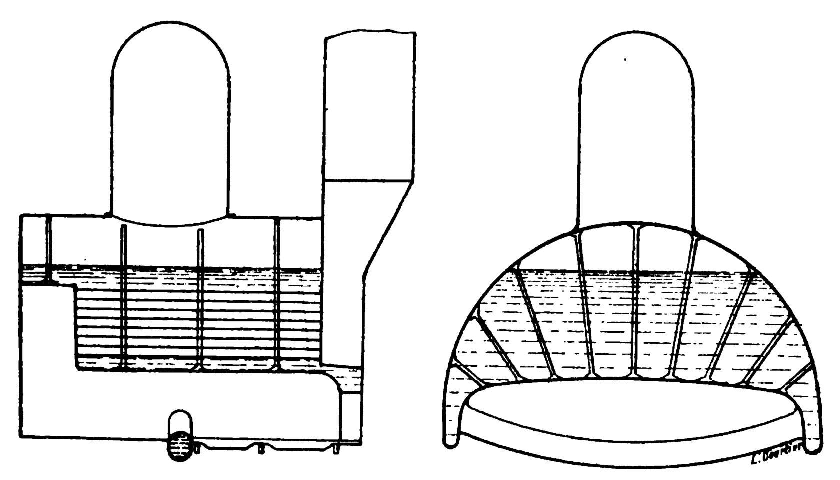


Fig. 94. — Chaudière tubulaire d'un bateau de rivière aux États-Unis (1838).

Mais on a conservé longtemps l'usage de chaudières à gros tubes ou carneaux circulaires: la figure 94 bis représente le

générateur de ce système d'un autre bateau de rivière l'*Oseola*; ces chaudières étaient chauffées au bois.

Il semble donc que la chaudière tubulaire a été employée de

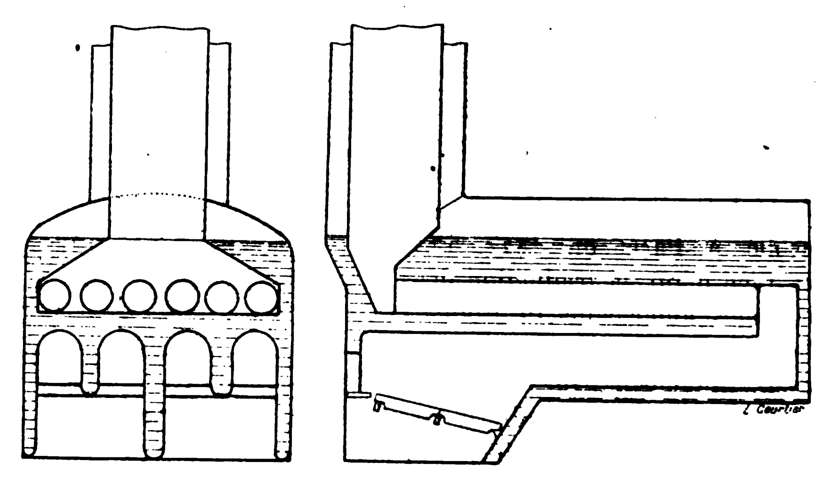


Fig. 94 bis. — Chaudière à gros tubes du bateau de rivière américain *Oseola* (1838).

bonne heure en Amérique, du moins sur les rivières, car, sur mer, elle a, au contraire, été longue à s'implanter. Ainsi, en

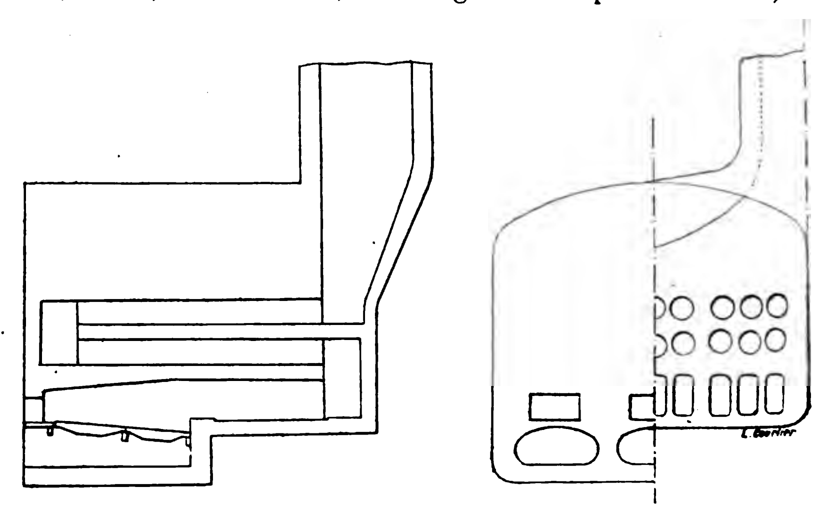


Fig. 95. — Chaudière à gros tubes de la frégate américain *Powhattan* (1852).

1852, alors que les marines militaires anglaise et française n'employaient déjà plus que des chaudières à tubes, la grande frégate à roues de 800 ch nominaux et 3750 tx de déplacement,

Powhattan, recevait encore un appareil évaporatoire composé de quatre chaudières (*fig. 95*) à carneaux les uns circulaires les autres ovales faisant trois circuits; il y avait douze foyers; ces chaudières, en cuivre, avaient 33 m² de surface de grille et 735 m² de surface de chauffe; la pression était de 12 livres, soit 1,85 kg. Le poids était de 140 t et la dépense de construction de ces chaudières de 570 000 f. Cet emploi, assez fréquent, du cuivre, était basé à la fois sur la plus grande durée attribuée aux chaudières de ce métal et à la supposition qu'il résistait mieux à l'action de l'eau de mer et que les dépôts étaient moins adhérents que sur le fer.

La même disposition, mais avec des enveloppes circulaires, permettait l'emploi de pressions plus élevées, 3,1 kg absolus.

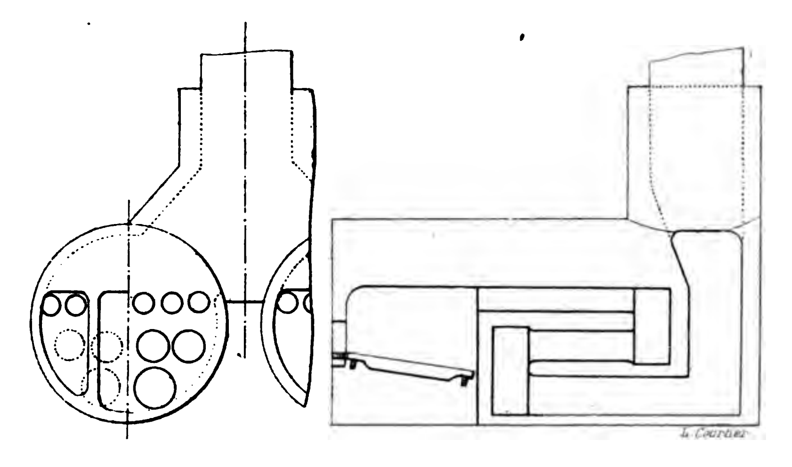


FIG. 95 bis. — Chaudière à gros tubes du vapeur de guerre américain *Fulton III* (1851).

La figure 95 bis représente les chaudières de ce genre du navire de guerre *Fulton III* datant de 1851.

Les premières chaudières tubulaires pour navires de mer paraissent avoir été celles du *Golden Gate*, de la ligne des vapeurs du Pacifique partant de Panama, construit en 1852.

Les chaudières à tubes ont surtout été employées aux États-Unis sous une forme spéciale due d'abord à Montgomery, dont il existe un brevet français à la date du 31 août 1848, et perfectionnées par Martin, Ingénieur en chef de la marine américaine. Ces chaudières eurent un très grand succès. La figure 96 représente les chaudières de l'*Arctic*, paquebot à roues de la ligne

transatlantique Collins construit en 1850; tous les paquebots de cette Compagnie avaient des générateurs de ce type. L'appareil évaporatoire se composait de quatre chaudières accolées avec la

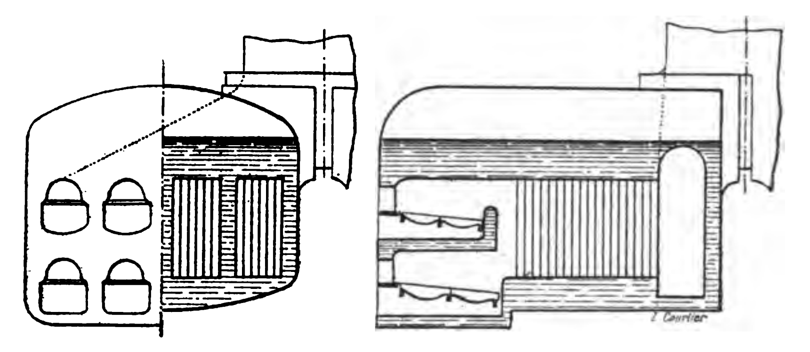


Fig. 96. — Chaudière type Martin des paquebots Collins (1850).

cheminée au centre; chacune avait huit foyers superposés deux à deux, soit trente-deux en tout avec 34,1 m² de surface de grille et 1 121 m² de surface de chauffe; la pression était de 12 livres ou 1,85 kg. Nous reviendrons sur ce navire à propos de la surchauffe.

Le seul exemple que nous connaissions de l'emploi de ce type,

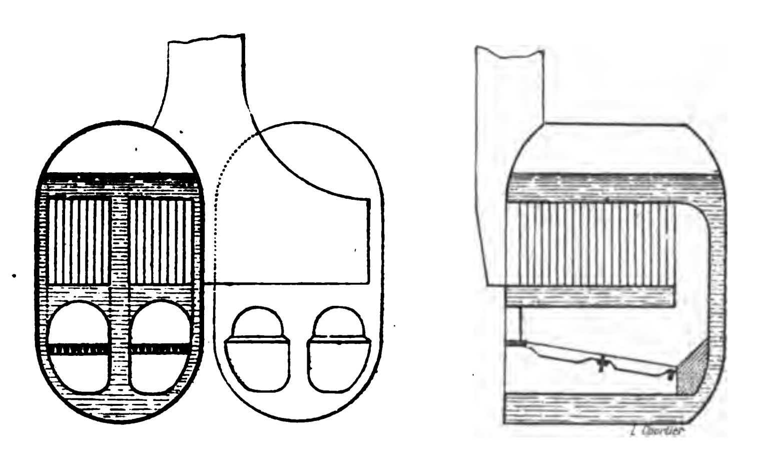


Fig. 97. — Chaudière Martin du bateau *Helgoland* de l'usine de Motala (1857).

en Europe, est l'application qui en a été faite par les ateliers de Motala, en Suède, au vapeur à roues *Helgoland* de la Compagnie de navigation Hambourgeoise-Américaine, construit en 1857.

Ce navire avait quatre chaudières *(fig. 97)* à enveloppes ovales,

avec chacune deux foyers presque entièrement circulaires et 258 tubes verticaux de 60 mm de diamètre et 1,04 m de longueur. La surface totale de grille était de 13,75 m et la surface de chauffe de 377 m pour 700 ch indiqués; la pression était de 2,2 kg absolus.

On peut ranger dans cette catégorie une disposition curieuse proposée, en 1849, par le célèbre constructeur du Havre Mazeline (*fig. 98*) et qui ne paraît pas avoir été mise en pratique.

Une autre disposition, qui rentre dans le genre de chaudières dont il est ici question, est celle des générateurs à tubes d'eau

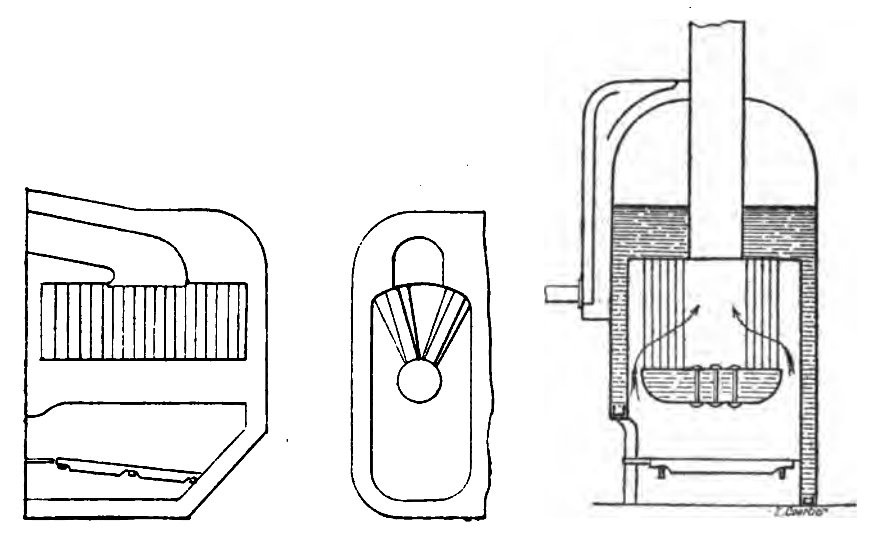


Fig. 98. — Chaudière à tubes d'eau, projet Mazeline (1849).

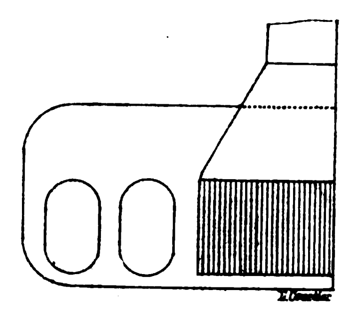
Fig. 99. — Chaudière écossaise à tubes d'eau (1843).

verticaux, très employée en Écosse sous le nom de *hay-stack boilers*, ce qu'on peut traduire par chaudières en meules de foin; ce système a été introduit par David Napier, sur la Clyde, vers 1843. Il comporte une enveloppe verticale (*fig. 99*) contenant un foyer cylindrique dans lequel se trouve une lame d'eau qu'un faisceau de tubes relie au ciel du foyer; cette lame d'eau ou bouilleur communique par des conduits avec l'enveloppe annulaire pour permettre l'arrivée de l'eau dans cette capacité. Ces chaudières ont été très employées sur les bateaux de la Clyde. Nous citerons comme exemple le *Lord of the Isles*, construit par la maison Henderson, de Glasgow, vers 1875, et portant deux chaudières de 4,05 m de diamètre et 4,35 m de hauteur conte-

nant chacune quatre foyers et 551 tubes de 1,32 m de longueur sur 64 mm de diamètre faisant 200 m² de surface de chauffe; la pression était de 50 livres ou 4,5 kg absolus; cette chaudière rentre donc dans la catégorie des chaudières à haute pression.

John Scott Russell, dans son ouvrage : *The modern system of Naval Architecture*, paru en 1865, donne à ces chaudières le nom de *chaudières écossaises* et dit que leur poids peut descendre à 50 à 60 kg par cheval indiqué.

On a quelquefois employé une disposition consistant à remplacer les tubes à fumée par des conduits ressemblant un peu à



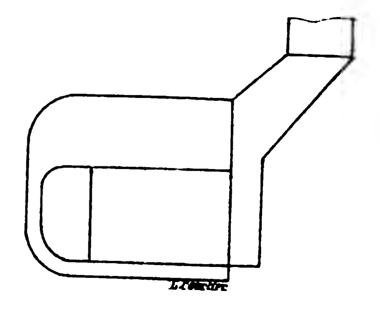


Fig. 100. — Chaudière à lames d'eau de Lamb et Summers.

des tubes aplatis et formés de deux tôles parallèles placées verticalement et raccordées en haut et en bas par des tôles courbes.

Les chaudières munies de ces conduits de fumée plats ont été introduites en Angleterre par Lamb et Summers d'abord, en 1849, sur le *Pacha*, en 1850 sur le *Tagus* et, en 1851, sur le *Ripon*, et ont été employées sur beaucoup de navires, notamment sur les paquebots de la Compagnie Péninsulaire et Orientale dont Lamb, un des inventeurs, était l'Ingénieur. Leur pression de marche était de 1,90 kg absolus. On les rencontrait aussi, en France, sur quelques navires de l'État dont les appareils moteurs avaient été fournis par des constructeurs anglais. Ces lames avaient 70 mm d'écartement pour le passage de la fumée et étaient distantes de 100 mm environ; elles étaient entretoisées ensemble. On a fait des chaudières de ce genre avec les lames à la suite des foyers ou au-dessus de ceux-ci ou à côté. La dernière disposition est représentée figure 100, où l'appareil éva-

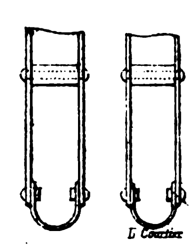


Fig. 101. — Disposition des lames d'eau.

poratoire comprend quatre chaudières à deux foyers chacune; ces générateurs ont une très faible hauteur; la figure 101 fait voir la disposition et l'entretoisement des carneaux plats.

La figure 102 représente les chaudières de ce type de l'*Alleghany* de la marine des États-Unis, mises sur ce navire lors de sa transformation de navire à roues en navire à hélice en 1852. Il y avait trois corps de chaudières à deux foyers chacun et quatorze carneaux aplatis à la suite de chaque foyer. Ces carneaux avaient 1,524 m de hauteur, 2,75 m de longueur et 0,108 m d'épaisseur. La surface totale de grille était de 18,8 m² et celle de chauffe de 511,50 m². La pression absolue était de 2,05 kg.

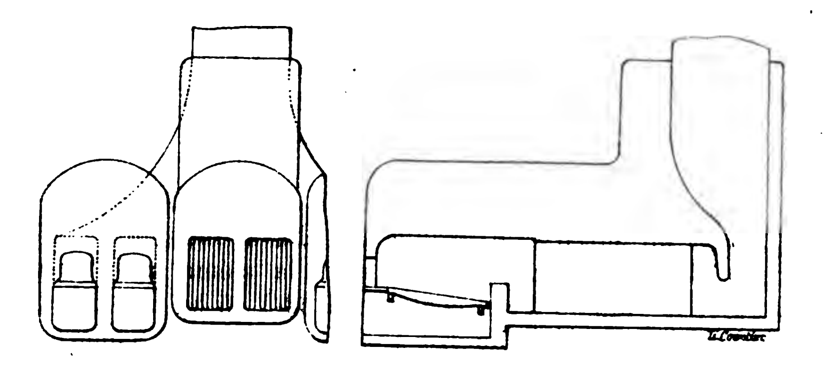


Fig. 102. — Chaudière à lames d'eau de vapeur américain *Alleghany* (1852).

Ce genre de chaudières a donné de bons résultats : l'extérieur des carneaux est plus facile à nettoyer que celui des tubes, mais, par contre, les attaches aux plaques tubulaires donnent facilement lieu à des fuites et, en cas de déchirure des parois des lames, on ne peut boucher ces ouvertures oblongues comme on tamponne un tube. Ce type de chaudières n'était d'ailleurs pas apte à supporter des pressions un peu élevées; aussi a-t-il complètement disparu depuis longtemps déjà.

Rappelons ici que la chaudière tubulaire a été introduite définitivement dans la marine militaire française vers 1845; elle a d'abord été appliquée à de petits bâtiments. Nous citerons le *Comte-d'Eu* (1) construit, en 1846, pour le service particulier de

(1) Ce navire porta successivement les noms de *Comte-d'Eu* en 1846, *Patriote* en 1848, *Reine-Hortense* en 1853 et *Cassard* en 1867; ce dernier changement ne fut pas dû à une cause politique, mais simplement au remplacement de ce yacht par un autre plus grand et plus confortable qui reçut le nom de *Reine-Hortense*.

Louis-Philippe. Ce navire avait des machines du Creusot avec chaudières en cuivre à flamme directe. En 1847, dans la Manche, entre Cherbourg et le Havre, des agrafes reliant, par l'intermédiaire de tirants verticaux, les ciels des foyers à l'enveloppe de la chaudière, agrafes qu'on avait cru pouvoir faire en cuivre fondu, cédèrent en présence, a-t-on dit, d'un excès de pression et, un des ciels de foyers s'étant écrasé, la vapeur envahit la chaufferie et causa la mort de quatorze hommes. Le commandant Paris, depuis vice-amiral, ne dut la vie qu'au fait qu'il venait de remonter sur le pont lorsque la catastrophe se produisit.

Dès 1850, l'emploi des chaudières tubulaires devint général dans la marine et, en 1856, on voit apparaître les types réglementaires de chaudières dites chaudières hautes à grilles longues et chaudières basses à grilles courtes, ces dernières destinées aux bâtiments de combat qui n'avaient pas assez de tirant d'eau pour que les générateurs du type haut pussent se loger au-dessous de la flottaison.

Les chaudières des deux types avaient environ 2,5 dm² de grille et 0,66 m² de surface de chauffe par cheval indiqué de 75 kg sur les pistons; le poids ressort pour la même unité à 90 à 100 kg et le volume d'eau contenue à 50 à 65 kg, soit au total de 140 à 165 kg au lieu de 210 à 300 kg que nous avons indiqués plus haut pour les chaudières à basse pression à galeries.

3° Chaudières a haute pression.

Nous avons indiqué tout à l'heure comme limite supérieure de ce qu'on peut considérer comme moyenne pression le chiffre de 3 kg absolus; il semble donc logique de faire partir les hautes pressions du même chiffre. Il est bien évident que ces valeurs n'ont rien d'absolument rigoureux, mais il y a une considération qui intervient pour relever un peu la limite inférieure du point de départ des hautes pressions, c'est qu'on a longtemps, d'abord en Angleterre et, par imitation, en France, appelé machines à haute pression les machines à échappement libre, c'est-à-dire sans condensation.

Ces machines ne pouvant fonctionner utilement qu'avec de la vapeur ayant au moins 40 à 50 livres, soit 3 à 3 1/2 kg de pression effective, on serait ainsi conduit à donner comme point de départ de la haute pression la valeur de 4 à 4,5 kg absolus.

Il est juste toutefois de dire que, dans certains cas, on combinait l'emploi de pressions un peu élevées avec la condensation, Trevithick en avait donné l'exemple dès 1810, au grand scandale de Watt, et les machines de Cornouailles en constituent un exemple remarquable. Toutefois, en Angleterre, la signification spéciale de machine à haute pression, dont nous venons de parler, a longtemps subsisté.

Nous distinguerons dans cette partie la navigation fluviale de la navigation maritime, parce que l'eau employée dans les deux cas pour l'alimentation des chaudières n'est pas la même et que la nature de cette eau exerce une influence des plus considérables sur les dispositions des générateurs.

Nous commencerons par les chaudières des bateaux de navigation intérieure pour lesquels, sauf exception, on a commencé à employer la haute pression.

Les premières chaudières de ce type furent, en Angleterre, celles de Trevithick, introduites bientôt en France, et, aux États-Unis, celles d'Evans. Nous avons déjà parlé des premières; pour les bateaux, on faisait en tôle l'enveloppe, qui était généralement en fonte pour les chaudières de terre. L'explosion survenue à Norwich, en 1817, de la chaudière d'un bateau du nom de *Telegraph*, qui tua plusieurs personnes et due à ce qu'au cours d'une réparation on avait refait en fonte le fond de la chaudière, amena une enquête officielle dont le résultat faillit être l'interdiction de l'emploi de la haute pression pour les bateaux et, en tout cas, contribua beaucoup au discrédit qui frappa longtemps la machine à haute pression en Angleterre. Cette enquête est très intéressante à consulter; on y trouve des dires qui nous paraîtraient bien extraordinaires aujourd'hui. John Steel, par exemple, déclare préférer l'emploi de la fonte pour les chaudières, parce qu'on peut avec cette matière donner une épaisseur aussi grande qu'on le désire et que l'étanchéité est bien plus assurée qu'avec des tôles assemblées au moyen de rivets.

Aux États-Unis, les premiers bateaux à haute pression reçurent des chaudières d'Evans formées de corps cylindriques horizontaux avec un tube intérieur, le foyer étant dans ce tube ou a l'extérieur dans un massif de maçonnerie et le retour se faisant par l'extérieur dans le premier cas ou par le tube dans le second. Ces chaudières ont été longtemps employées sur les eaux de l'Ouest et le sont probablement même encore. La figure 103

représente les générateurs d'un grand remorqueur du Mississipi, le *Joseph B. Williams*, construit en 1875 ; l'appareil évaporatoire comprend six chaudières de 1,016 m de diamètre et 8,54 m de longueur, donnant de la vapeur à la pression de 140 livres ou 10 kg effectifs pour alimenter une machine développant 800 ch.

Le tirage s'opère par deux cheminées, une de chaque côté, de 1,70 m de diamètre et 15,50 m de hauteur. On trouvera la description de ce bateau dans l'*Engineer* du 9 juin 1876. Or, ces

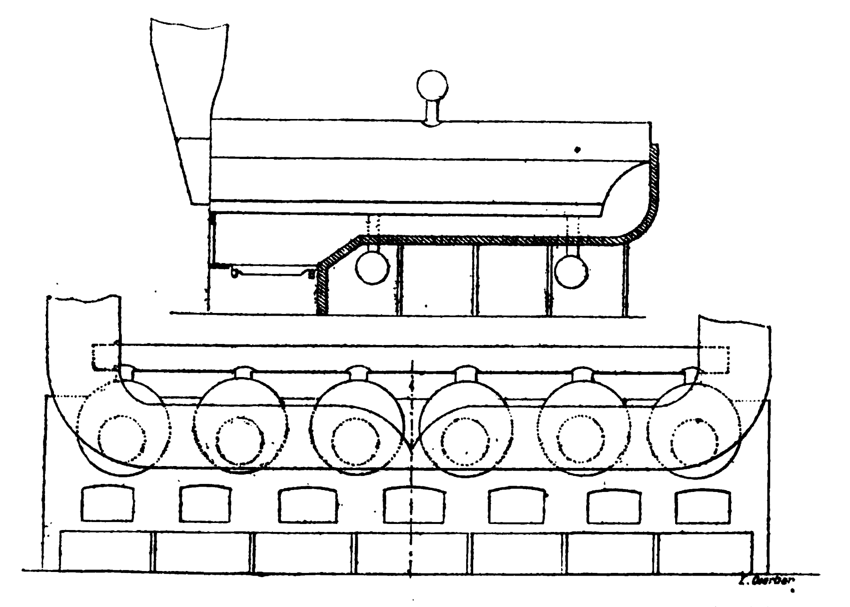


Fig. 103. — Chaudières à haute pression d'un remorqueur américain de rivière.

chaudières sont presque identiques à celles du *Merrimack*, remontant à 1838 ou 1840, décrites dans un ouvrage publié à Paris en 1842 et dont nous avons déjà parlé.

Sur la Seine, dans les premiers bateaux à haute pression, dès 1825, on eut l'idée d'employer tout simplement la chaudière à bouilleurs d'Edwards en réduisant la maçonnerie du fourneau à une simple garniture en briques placée à l'intérieur d'une caisse en tôle. Comme on ne connaissait pas alors les briques creuses, on s'est servi quelquefois de briques poreuses très légères, d'une fabrication spéciale. On attribue généralement à Cavé l'introduction sur les bateaux des chaudières à bouilleurs; si c'est exact, il fut rapidement suivi dans cette voie par les autres constructeurs, tels que Durenne, Pauwels, Dietz, Raymond, etc.

Ces chaudières se composaient d'un ou plusieurs corps de 1 m de diamètre environ avec chacun deux bouilleurs de 0,50 m de diamètre, généralement très rapprochés du corps ; la longueur atteignait jusqu'à 8 et 10 m. Ces chaudières *(fig. 104)* étaient placées au-dessus d'une grille quelquefois unique et ayant jusqu'à 4 m × 2 m, soit une surface de 8 m². La flamme chauffait les bouilleurs et revenait sous les chaudières à la cheminée placée du côté des portes de foyers ; rarement on faisait un troisième retour en mettant la cheminée à l'autre extrémité du massif.

Presque tous les bateaux à haute pression de la Seine construits, à partir de 1825, pendant une période d'une trentaine d'années, par les constructeurs parisiens, avaient des chaudières à bouilleurs, surtout les remorqueurs, pour lesquels les questions de poids et d'encombrement n'avaient que peu d'importance. La maison Durenne construisit beaucoup de ces générateurs.

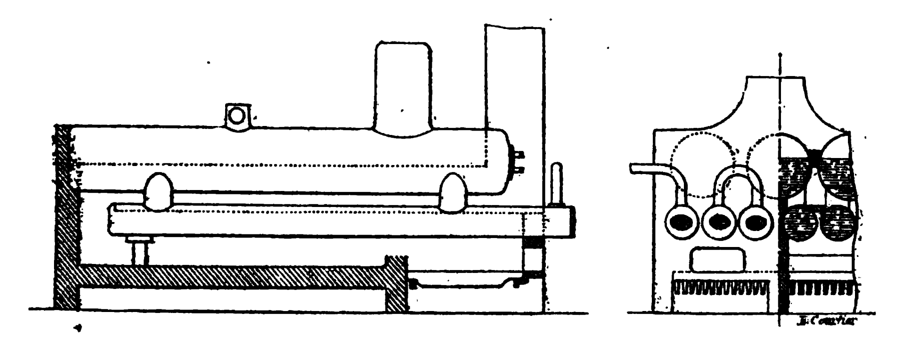


Fig. 104. — Chaudières à bouilleurs des bateaux de la Seine (1830).

Chose singulière, d'une disposition qui a été très employée pendant une période relativement longue, il n'existe guère, à notre connaissance, qu'un seul dessin qu'on trouve d'abord dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de 1840, planche DCCCV, et qui représente les chaudières du bateau *la Picardie*, construit par Ch. Dietz. Ce dessin a été donné dans d'autres ouvrages, mais c'est toujours le même. Cela prouve une fois de plus combien il est difficile d'avoir des documents sur les faits de cette époque.

Ces chaudières étaient aussi employées sur plusieurs remorqueurs du port du Havre, faisant, par conséquent, de courts trajets à la mer ; nous connaissons même des exemples de leur emploi pour des traversées maritimes ; ainsi, la *Picardie*, dont il

vient d'être question, a été de Paris à Bordeaux par mer par ses propres moyens, et un paquebot ayant fait longtemps un service régulier entre le Havre et Dunkerque, *le Maréchal-de-Villars*, avait reçu, lors de sa construction, en 1839, un appareil moteur à haute pression sans condensation comprenant des chaudières à bouilleurs avec foyer en maçonnerie, le tout provenant des ateliers de Raymond, à Paris, rue du Faubourg-du-Temple. Il y avait quatre chaudières de 0,83 m de diamètre et 7,50 m de longueur avec chacune deux bouilleurs de 0,50 m et 8 m. La surface de chauffe, comptée à un tiers de celle de la chaudière et deux tiers de celle des bouilleurs, était de 92,40 m^2 et la pression effective de 5 atm. On brûlait environ 360 kg de charbon à l'heure pour une puissance effective de 160 ch environ, correspondant à une puissance nominale de 100 ch. On peut donc estimer la production de vapeur à 25 à 27 kg par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Ces renseignements sont extraits d'un procès-verbal de visite de la Commission de surveillance des bateaux à vapeur, en date du 11 février 1847; le bateau avait donc alors huit ans de service. Ces chaudières furent remplacées vers 1850 par deux générateurs aussi à bouilleurs, mais du système Legavrian et Farinaux, dont nous avons parlé précédemment; les deux chaudières de ce type avaient ensemble 118,80 m^2 de surface de chauffe.

Nous pouvons encore citer comme exemple de chaudières à bouilleurs celles d'un remorqueur de 160 ch de la Basse-Seine, qui existait encore vers 1870; il y avait quatre chaudières de 0,95 m de diamètre sur 10 m de longueur, chacune ayant deux bouilleurs de 0,55 m sur 10 m. La surface totale, en comptant seulement un tiers de la surface de la chaudière et deux tiers de celle des bouilleurs, était de 132 m. La vapeur, produite à 7 kg de pression, alimentait deux cylindres oscillants de 0,72 m de diamètre et 1,60 m de course, actionnant des roues de 6,25 m de diamètre à douze aubes à raison de 16 tours par minute. Le travail brut développé sur les pistons dans ces conditions était de 230 à 250 ch.

Le système de chaudières à bouilleurs présentait des avantages réels qui expliquent son emploi étendu, mais la place qu'il occupait limitait la puissance réalisable à environ 200 ch ; pour ce chiffre, le massif des chaudières occupait déjà, sur toute la largeur de la coque, une longueur de 10 m au moins, alors qu'une chaudière à basse pression à carneaux de 100 ch nominaux

prenait seulement 5,50 m à 6 m sur la même largeur. Ces chaudières n'ont jamais été employées que sur la Seine et, si on en rencontrait exceptionnellement sur des bateaux naviguant sur d'autres fleuves, par exemple : *la Picardie* sur la Garonne, les *Aigles* et *le Corsaire Rouge* sur le Rhin, c'est que ces bateaux y étaient venus de la Seine.

Une disposition qui rentre dans cette catégorie est celle des chaudières des grandes dragues de Suez, construites en 1864 par la maison Gouin *(fig. 105)*. Le bouilleur forme ici réchauffeur.

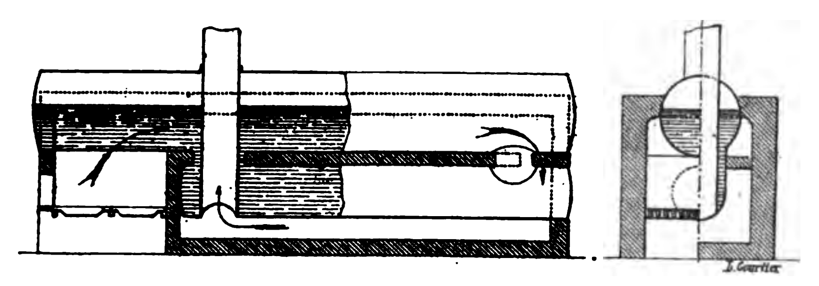


Fig. 105. — Chaudières des dragues du canal de Suez (1864).

On peut rapprocher des chaudières d'Evans les générateurs de *l'Hercule*, placés, en 1829, sur ce bateau hollandais par G. M. Roentgen pour alimenter une machine compound qui est la première de ce genre qui ait été exécutée.

Il y avait *(fig. 106)* six corps de chaudières de 1,05 m de diamètre

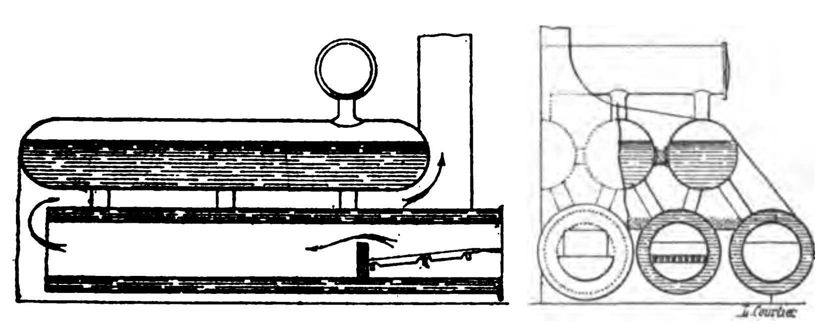


Fig. 106. — Chaudières du remorqueur *Hercule* (1829).

et 6,30 m de longueur contenant chacune un carneau formant foyer; la flamme revenait par l'extérieur à la cheminée placée du même côté que les portes des foyers. Cinq réservoirs placés au-dessus des chaudières étaient réunis à celles-ci par de courtes communications. La pression était de 5 atm effectives; la ma-

chine développait environ 250 ch. Ces générateurs furent remplacés en 1840 par un ensemble de sept corps (*fig. 107*), avec chacun un carneau intérieur, et disposés quatre sur une rangée et trois sur une autre au-dessus d'une grille placée à l'extérieur; la flamme, après avoir chauffé l'extérieur du corps,

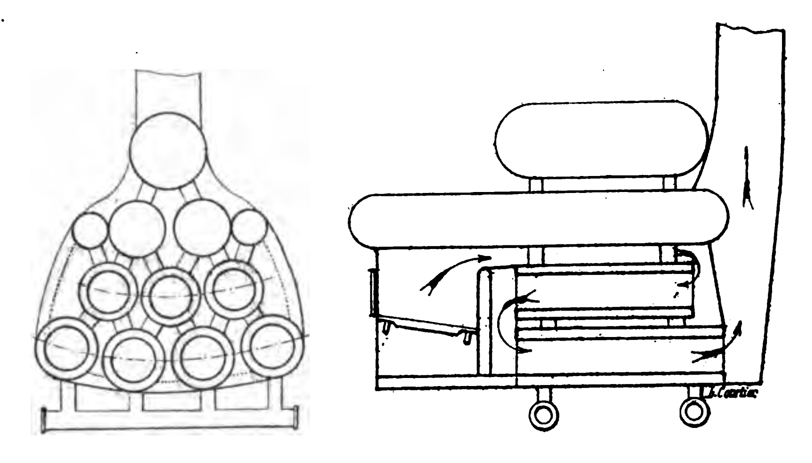


Fig. 107. — Nouvelles chaudières de l'*Hercule* (1840).

revenait par les carneaux intérieurs en deux circuits. Trois réservoirs de vapeur étaient placés à la partie supérieure. Cette disposition paraît extrêmement compliquée.

Une disposition analogue, mais plus simple, se rencontrait dans

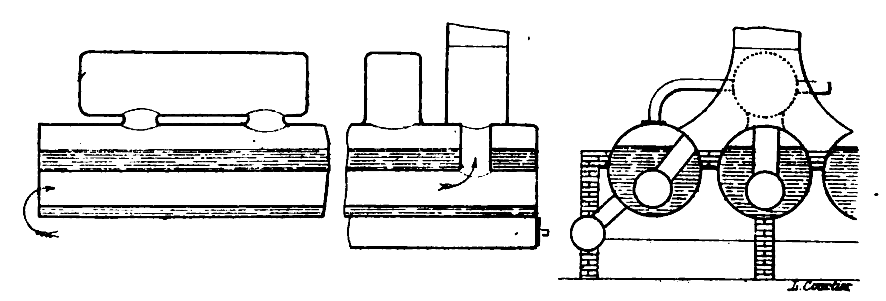


Fig. 108. — Chaudière d'un remorqueur de la Seine (1845).

l'appareil évaporatoire du remorqueur de la Seine *le Vice-Amiral-de-Rosamel*, construit, vers 1845, croyons-nous, par Durenne, à Paris, appareil qui se composait (*fig. 108*) de trois corps de 1 m de diamètre et 8 m de longueur, avec un carneau intérieur de 0,50 m; la grille était au-dessous et se trouvait bordée latéra-

lement par deux courts bouilleurs reliés aux deux corps extérieurs. La flamme chauffait d'abord le pourtour des chaudières et revenait par les carneaux à la cheminée placée à l'avant du même côté que les portes des foyers. Un réservoir de vapeur en forme de cylindre horizontal était disposé au-dessus du corps central. La surface de chauffe était de 78,50 m² et la pression de 5 kg effectifs.

Pendant que nous sommes sur la Seine, nous ne devons pas omettre, ne fût-ce qu'à titre de curiosité, le cas des *Étoiles*, bateaux à vapeur construits par Normand, au Havre, en 1837, pour faire le service entre Rouen et Paris ou plutôt Le Pecq, terminus du chemin de fer de Saint-Germain. Ces bateaux avaient des machines à basse pression de 80 ch de Barnes et Miller, de Londres, et des chaudières verticales. Une particularité de ces bateaux était que, la coque ayant peu de creux, on avait dû mettre une cheminée à chacune des chaudières, au nombre de quatre, dont deux à l'avant et deux à l'arrière des machines, ce qui donnait un aspect insolite à ces bateaux que les riverains désignaient sous le nom populaire des *Quatre-Cheminées*.

Nous n'avons pu trouver sur la disposition des chaudières qu'une note succincte au bas de la page 429 du tome V de la *Publication industrielle* d'Armengaud, indiquant les chaudières comme étant à tubes d'eau et le chauffage comme se faisant au coke. Les *Étoiles* cessèrent leur service dès l'ouverture du chemin de fer de Paris à Rouen et finirent leur carrière comme remorqueurs et, croyons-nous, avec d'autres chaudières. C'était une erreur que d'avoir fait fournir de la vapeur à basse pression à des générateurs propres à supporter des pressions plus élevées. Il n'y avait peut-être là qu'une affaire de réclame, car, à l'époque, il restait encore un certain préjugé contre la haute pression; or, les *Étoiles* avaient pour concurrentes les *Dorades*, munies de machines à haute pression avec chaudières à bouilleurs de Cavé et les affiches des premières portaient, écrite en grosses lettres, la qualification de bateaux munis de *machines à basse pression*. Nous avons encore vu cette même mention figurer vers 1870 sur les affiches des bateaux hollandais, les *Telegraaf*, faisant le service entre Anvers et Rotterdam. Ajoutons que les *Dorades*, ne pouvant pas recourir à la même recommandation, se rattrapaient en se qualifiant, en non moins grosses lettres, sur leurs affiches, de bateaux construits par le *célèbre mécanicien Cavé*, sans parler, bien entendu, de la pression.

A la même époque, 1837, Normand fit les coques en fer de deux bateaux, *le Castor* et *le Pollux*, destinés à faire un service de voyageurs entre Rouen et le Havre. Les machines furent fournies par W. Fairbairn, à Manchester. C'étaient des machines inclinées à haute pression sans condensation, alimentées par trois chaudières de locomotives avec foyers en parallélipipèdes. Les corps cylindriques avaient 1,067 de diamètre et contenaient chacun cinquante et un tubes en laiton de 63 mm de diamètre et 2,75 m de longueur. Il y avait un dôme cylindrique sur le foyer de chaque générateur et une seule cheminée pour les trois. Les foyers étaient soufflés par de l'air envoyé dans les cendriers par un ventilateur mû par l'arbre des roues au moyen d'une courroie. Un dessin de ces appareils se trouve au *Portefeuille* du Conservatoire des Arts et Métiers; il porte la signature W. Fairbairn et la date octobre 1837.

Ajoutons qu'il figure sous la même enveloppe un dessin se rapportant aux mêmes bateaux et représentant une chaudière à basse pression à galeries avec la signature John Barnes et la date 20 mai 1840. Il semble donc qu'on ne fut pas satisfait des machines à haute pression du *Castor* et du *Pollux* et qu'elles furent remplacés par des moteurs à basse pression.

Nous avons la confirmation de cette supposition dans une liste des machines de Barnes et Miller montées sur des bateaux français construits par Normand, au Havre; sur cette liste figuraient le *Castor* et le *Pollux*, de 140 ch; on la trouve dans une notice nécrologique sur John Barnes, contenue dans les Proceedings de l'*Institution of Civil Engineers*, vol. XII (1852-53). Avec ces modifications, les bateaux furent affectés à une autre destination, le *Castor* a un service dans la Manche et le *Pollux* a un service dans la Méditerranée entre Marseille et Naples.

Des chaudières qui présentent une assez grande ressemblance avec celles dont nous venons de parler furent montées en 1839-1840 par Roentgen sur des bateaux à faible tirant d'eau faisant la navigation sur la Moselle allemande; la figure 109 les représente.

La chaudière avait un foyer en parallélipipède, le corps cylindrique contenait soixante-trois tubes de 68 mm de diamètre et 2,60 m de longueur; la chaudière avait une enveloppe dans laquelle la fumée passait en sortant des tubes pour se rendre à la cheminée placée au-dessus de la boite à feu. La surface de grille était de 1,33 m² et la surface de chauffe de

50 m^2. La pression effective était de 5 kg. Un ventilateur, mû par une courroie venant de l'arbre des roues, soufflait de l'air dans le cendrier clos. D'autres bateaux faisant le même service avaient des chaudières analogues, mais sans circulation de la fumée autour du corps cylindrique.

Tous ces générateurs fournissaient la vapeur à des machines compound à condensation.

Sur les autres fleuves français, la Garonne, le Rhône et la

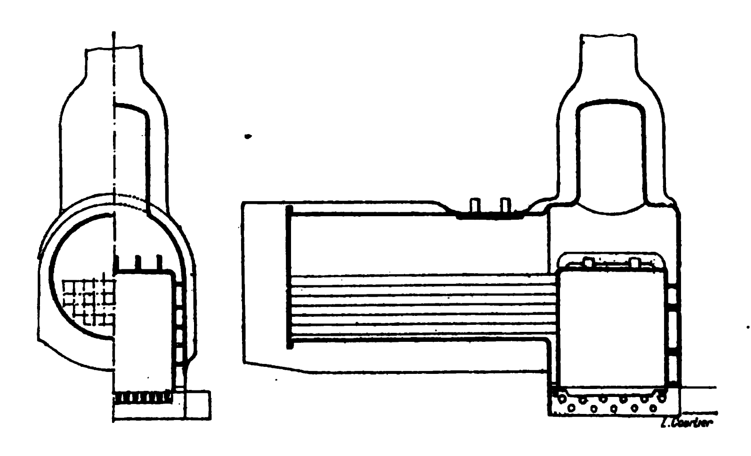


Fig. 169. — Chaudières des bateaux de la Moselle par Roentgen (1837-1840).

Loire, les chaudières à tubes de tout genre furent employées de bonne heure. Pour le premier, nous trouvons des renseignements précieux dans un ouvrage, peu connu, publié à Bordeaux, en 1844, sous le titre *Manuel des Machines et Appareils à vapeur*, par C. A. Tremtsuk, ouvrage contenant des tableaux formant état des bateaux à vapeur qui, de 1818 à 1842, ont été construits à Bordeaux ou ont fait la navigation sur la Garonne, la Gironde et la Dordogne. Il y est indiqué que l'*Aigle*, construit en 1832, avait une chaudière à tubes construite, ainsi que la machine, par Braithwaite et Ericsson, à Londres, la pression était de 4 atm effectifs; l'*Aigle* fut modifié en 1837 et reçut des machines à basse pression et on lui donna le nom de *Montesquieu*. Il est bien probable que le premier générateur était du modèle de la *Novelty*; nous reviendrons sur ce sujet un peu plus loin.

On trouve, dans le même ouvrage, que des chaudières auxquelles l'auteur donne le nom de Gurney et construites par Keene, à Londres (un des importateurs, en France, du brevet

Gurney), furent montées, vers 1830, sur les bateaux de la Garonne, *Omnibus* et *Industrie*. La pression était de 4 kg et la vapeur se condensait dans des jeux d'orgues ou condenseurs à surface dont on trouve aussi la description dans le brevet d'importation de Keene, du 8 mai 1828, brevet dans lequel, le lecteur se le rappelle peut être, figure la mention : le générateur est construit à peu près sur le même principe et opère comme celui déjà breveté en France, en 1826, sur la demande du sieur Perpigna.

La machine de l'*Omnibus* fut bientôt remplacée par une machine à basse pression ; quant à l'*Industrie*, ce bateau fut démoli, en 1834, sans avoir jamais fait de service sérieux.

Dès 1834, on employa, sur la Garonne, des chaudières à tubes horizontaux en prolongement du foyer, qu'on désignait sous le nom de chaudières à tubes calorifères; les tubes étaient généralement en cuivre rouge. Les corps de ces chaudières avaient un assez faible diamètre et, le foyer devant être assez grand pour recevoir la grille, la chambre de vapeur était très réduite et la circulation de l'eau se faisait mal, ces inconvénients ne furent pas étrangers à divers accidents qu'on a attribués à l'emploi des tubes en cuivre.

Sur la Loire, on employa de bonne heure des chaudières du

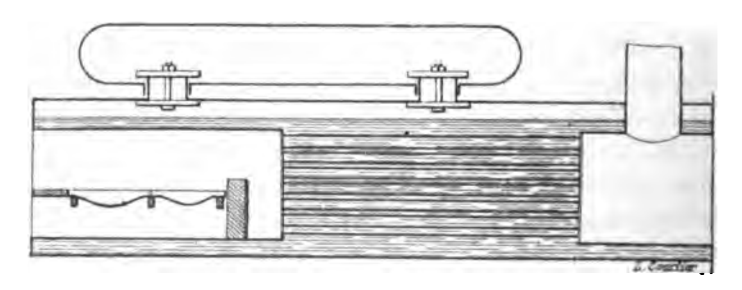


Fig. 110. — Chaudière du bateau de rivière *La Bretagne* (1841).

même genre. La figure 110 en représente une construite par L. Jollet, de Nantes, en 1841, pour le bateau *la Bretagne*. Ce bateau avait deux générateurs de 1,35 m de diamètre et 8,40 m de longueur, contenant un foyer cylindrique de 1,05 m de diamètre avec 19 tubes en prolongement de 0,16 m de diamètre et 4,84 m de longueur.

Chaque chaudière avait 42,20 m² de surface de chauffe, la pression était de 5 atm. Sur chaque chaudière était un réservoir

horizontal de 1,10 m de diamètre et 4,90 m de longueur, relié au générateur par deux tubulures de 0,50 m de diamètre.

Le niveau d'eau était dans ce réservoir ; la circulation de l'eau se faisait assez mal et le mode de réunion des deux parties était vicieux, ce qui amena, à la date du 6 mars 1841, une violente explosion.

Sur le Rhône et la Saône, on employait des chaudières analogues et, de plus, le Creusot plaça, sur plusieurs bateaux de cette dernière rivière, des chaudières analogues aux chaudières de Cornouailles, avec un foyer intérieur contenant un bouilleur, mais sans circulation de la fumée à l'extérieur. La figure 111 représente la chaudière du *Citis*. Le corps de chaudière avait 1,60 m de diamètre et 7 m de longueur, le tube foyer 1 m et le

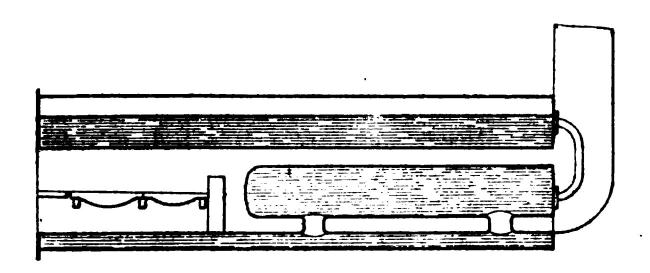


Fig. 111. — Chaudière du bateau de rivière le *Citis* (1840).

bouilleur 0,50 m de diamètre et 5,67 de longueur ; ce bouilleur communiquait avec la chaudière par trois tuyaux inférieurs pour l'eau et un tuyau supérieur pour la vapeur. La pression était de 4 kg effectifs. La chaudière du *Citis* fit explosion, en février 1841, à Chalon-sur-Saône, par l'écrasement partiel du tube carneau..

Cochot, constructeur parisien bien connu, fit, vers 1840, quelques chaudières de bateaux, dans lesquelles il combinait l'emploi de tubes à fumée et de tubes à eau.

Dans les unes, à flamme directe (*fig. 112*), les tubes à fumée étaient disposés à la manière ordinaire dans un corps cylindrique horizontal, précédé d'un foyer dont le ciel était formé de tubes d'eau horizontaux et le fond et les côtés de murettes en briques.

Dans les autres, le corps cylindriques de plus fort diamètre contenait des tubes à fumée en retour et au-dessous de ceux-ci deux gros carneaux à quatre côtés concaves ; ces carneaux

faisaient suite à un foyer disposé comme dans la chaudière précédente et sur lequel se trouvait la boîte à fumée, communiquant avec les tubes de retour de flamme. Dans les deux modèles, les tubes à eau, formant ciel de foyer, étaient en communication par une extrémité avec le corps cylindrique, tandis que la vapeur s'échappait à l'autre extrémité par des tubes verticaux reliés au collecteur horizontal, d'où la vapeur allait rejoindre celle de la partie supérieure de la chaudière. Ces générateurs se ren-

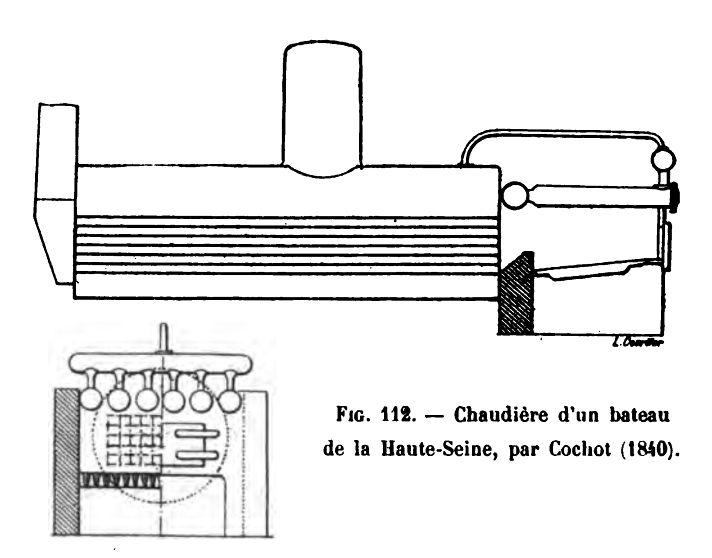


Fig. 112. — Chaudière d'un bateau de la Haute-Seine, par Cochot (1840).

contraient sur des bateaux à vapeur, faisant le service de la haute Seine, Paris à Corbeil, Melun et Montereau.

Depuis que la haute pression s'est généralisée sur mer avec l'emploi des chaudières cylindriques à retour de flamme, ce type a été également employé pour la navigation fluviale où on le rencontre actuellement avec divers types de chaudières à tubes d'eau.

Nous passons maintenant à l'examen des divers systèmes de chaudières à haute pression, successivement employés sur les navires de mer.

Le plus ancien, ou tout au moins un des plus anciens, est la chaudière du vapeur de la marine française *l'Africain*, construite à Indret, en 1823, par Philippe Gengembre. La machine était de 40 ch, à haute pression, sans condensation ; il y avait deux chaudières *(fig. 113)*, chacune formée de trois corps cylindriques superposés, raccordés à un cylindre vertical ; des carneaux cylin-

driques prolongeaient le foyer circulaire dans ces corps pour aboutir à la cheminée. La pression effective était de 4 kg.

Avec ces dispositions, la circulation de l'eau se faisait d'une manière très défectueuse et il devait se former facilement des chambres de vapeur; ces chaudières se remplissaient rapidement de sel et, en somme, les résultats furent déplorables.

Cet essai et quelques autres du même genre furent les causes de l'horreur profonde que la marine militaire éprouva si longtemps pour l'emploi de la haute pression.

Nous avons déjà parlé de la chaudière du *Vautour*, également

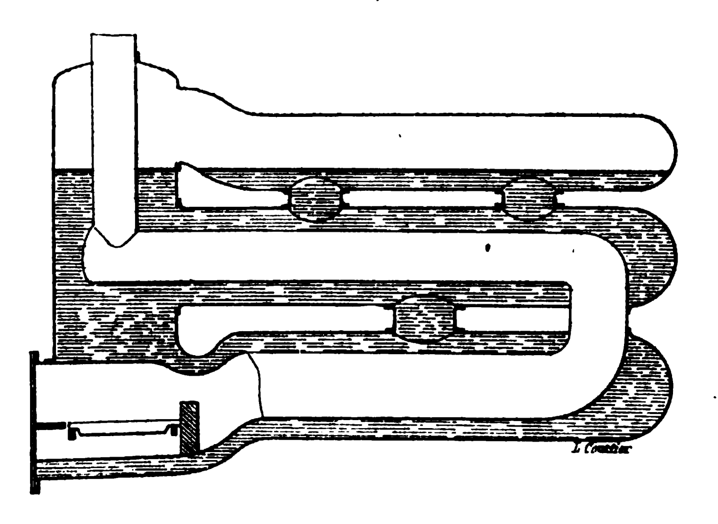


FIG. 113. — Chaudières du bateau l'*Africain* par Ph. Gengembre (1823).

due à Gengembre, mais où, grâce à l'emploi, si rationnel sur mer, de la condensation, on avait réduit la pression effective à 1 kg.

Nous avons dit un mot ailleurs des générateurs Frimot et Beslay, essayés sans succès sur des navires de la marine française.

On ne saurait donc s'étonner que le génie maritime fût franchement hostile à toute élévation des tensions au-dessus de quelques centimètres de pression effective pour l'emploi à la mer; seulement il avait tort d'étendre cette exclusion en dehors de cette application. Hubert, le constructeur du *Sphinx*, dans un article inséré aux *Annales maritimes* de juillet 1837, disait : « Les détails dans lesquels nous venons d'entrer suffisent pour faire reconnaitre tous les désavantages attachés à l'emploi de la vapeur

à une pression un peu élevée, agissant aussi par détente; ils tiennent au mode de propagation de la chaleur dans les corps et se refusent, par conséquent, à toutes idée de perfectionnement ».

Reech, dans son mémoire sur les *Machines à vapeur et leur application à la navigation*, datant de 1837-1838, s'exprime tout aussi nettement : « L'emploi des machines à haute et moyenne pression et a détente ne peut promettre aucun succès durable dans les applications à la navigation maritime et *même à terre*; il est fort douteux que, dans le plus grand nombre des cas et toutes les fois, notamment, qu'il s'agira de produire un mouvement de rotation, des machines de cette espèce puissent soutenir avantageusement la lutte avec des appareils perfectionnés à basse pression dans lesquels la détente commencera vers la moitié ou le tiers de la course (1). »

Les idées de la marine n'avaient pas changé en 1843, car les

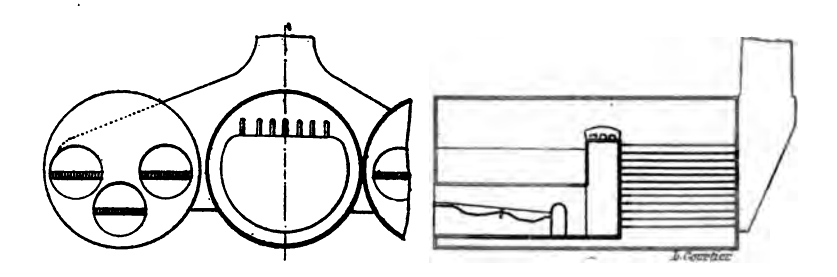


Fig. 114. — Chaudières de mer à haute pression (1854).

appareils moteurs de 450 chx des paquebots transatlantiques commandés à cette époque furent encore munis de chaudières à galeries produisant la vapeur sous une pression absolue de 1,31 kg par centimètre carré, ce qui correspond à la pression de 4,5 livres par pouce carré des Anglais. Or, à ce moment, on portait sur les paquebots anglais faits à la même date, même avec des chaudière du même système, les pressions à 7 livres. Ajoutons que c'est très probablement à cette prévention contre toute élévation des pressions qu'est dû ce fait que la marine française ne fit jamais aucun essai du condenseur à surface de Hall, dont l'intérêt était presque nul avec la basse pression. Il est juste de dire que l'Amirauté anglaise était à peu près dans les

(1) Voir la note C à la fin de l'ouvrage.

mêmes idées et n'encourageait pas les propositions d'essais de machines à forte pression.

Ce ne fut guère qu'à l'époque de la guerre de Crimée qu'on essaya, dans les deux pays, des chaudières à haute pression, qui furent installées sur des canonnières et batteries flottantes. C'étaient des chaudières cylindriques à flamme directe, souvent disposées, comme sur la figure 114, avec trois corps ayant chacun trois foyers circulaires et une boîte à fumée commune; la pression était de 5 kg. D'autres chaudières (*fig. 115*) avaient deux foyers circulaires, avec un faisceau tubulaire en retour placé entre les foyers, le tout logé dans une enveloppe ovale consolidée par tirants verticaux. Ces machines marchèrent d'abord sans condensation et furent munies plus tard de condenseurs à surface.

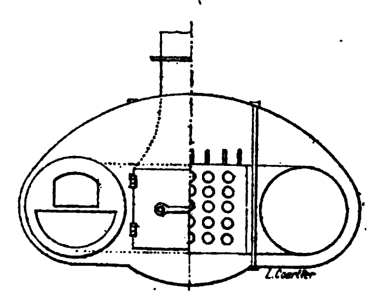


Fig. 115. — Chaudières de mer à haute pression (1855).

La figure 116 représente encore un autre modèle formé de

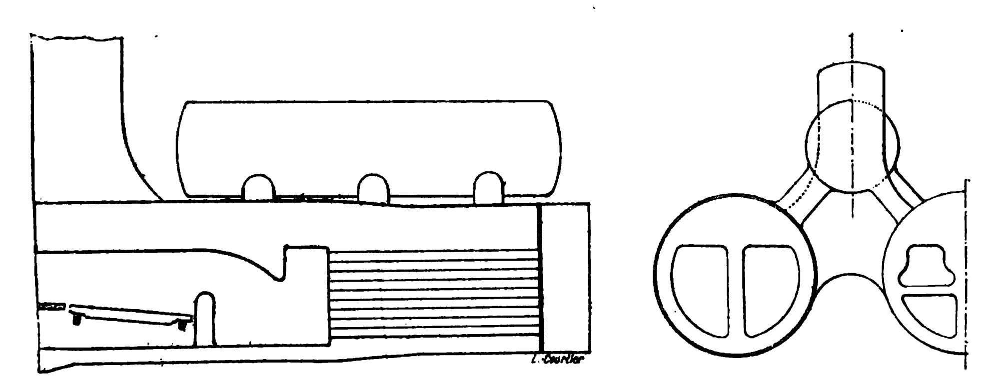


Fig. 116. — Chaudières de mer à haute pression (1860).

deux corps tubulaires à flamme directe avec retour de fumée entre les deux vers le côté des portes de foyers.

Vers 1855, des constructeurs anglais, Randolph et Elder, qui eurent le mérite d'appliquer de bonne heure sur mer la double expansion, mais sous une forme assez compliquée, employèrent, pour la production de la vapeur, des chaudières d'une disposition

spéciale (*fig. 117*): elles étaient composées de gros tubes verticaux de 0,60 m de diamètre et 5,70 m de hauteur, disposés circulairement autour d'une grille centrale; dans l'intérieur se trouvait un autre tube vertical de 0,75 m de diamètre et 9 m de hauteur; dans l'espace annulaire existant entre ce tube et les autres se plaçait un tube enroulé en spirale, formant un carneau de même forme pour la circulation de la fumée, le tube en spirale avait 0,75 m de diamètre et 30,50 m de longueur. Ces chaudières, fonctionnant à 4 kg de pression effective, furent employées sur le *San Carlos*, le *Guayaquil*, etc., paquebots à hélice de la Compagnie du Pacifique.

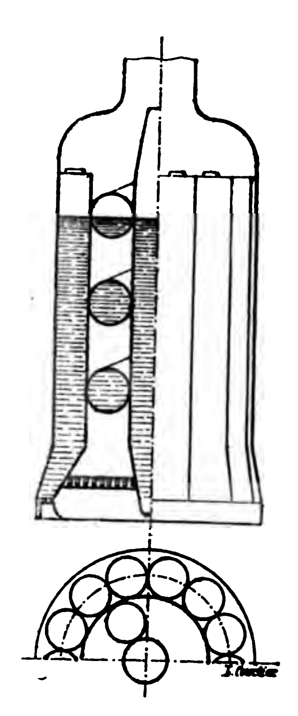


Fig. 117. — Chaudière de Randolph et Elder (1855).

A peu près à la même époque, d'autres constructeurs, Rowan et Horton, firent des essais de machines à double expansion, notamment sur le vapeur *Thétis*, avec des chaudières de disposition assez compliquée, combinant l'emploi de tubes d'eau avec des lames d'eau, sans grand succès d'ailleurs. On trouve, à partir de cette époque, proposés et même employés sur une échelle plus ou moins considérable, quantité de systèmes de chaudières, dont il nous est impossible de donner même l'énumération sans être entraîné beaucoup trop loin. Nous nous contenterons de parler de l'origine de la chaudière tubulaire à enveloppe cylindrique, qui a été à peu près la seule employée, pendant vingt ans, sur mer et qui partage, encore actuellement, avec les chaudières à tubes d'eau, la faveur des constructeurs de machines marines.

Nous avons déjà signalé, à titre de curiosité, qu'un certain Claude Duclos avait, dans un brevet du 11 avril 1838, décrit, en en proposant l'emploi pour des machines demi-fixes, une chaudière ayant tous les caractères de la chaudière marine actuelle, enveloppe et foyers circulaires, tubes en retour, etc.

Vers 1845, il fut mis en service sur la Tamise, par une Com-

pagnie dite : « Halfpenny Steamboat C° » des bateaux à moyenne pression, portant des chaudières du même système, dont la figure 118 donne une idée. On voit que le fond du foyer, en forme de calotte, est relié au fond de l'enveloppe par une entretoise. Cette entretoise était faite de deux pièces rattachées par une clavette.

Sur un de ces bateaux, nommés le *Cricket*, portant deux chaudières de ce genre, une d'elles fit explosion, en septembre 1847, parce que, sous l'influence de dilatations et contractions successives, la clavette, mal assujettie, vint à tomber; la calotte, terminant le foyer, n'étant plus soutenue, s'aplatit en se déchirant; les conséquences de cette explosion furent terribles : 17 personnes furent tuées et 60 blessées. La pression n'était que de 1,5 kg effectif, mais les soupapes de sûreté avaient, paraît-il, été surchargées.

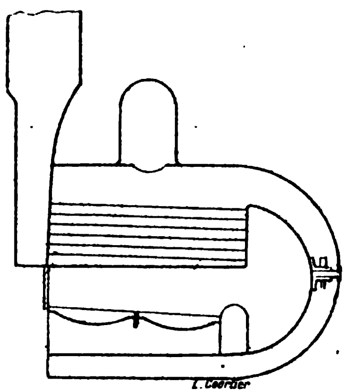


Fig. 118. — Chaudière du bateau de rivière le *Cricket* (1847).

En 1850, le 3 juillet, un nommé Davies, du comté de Stafford, a pris un brevet d'importation, en France, pour une chaudière marine tout à fait semblable à certaines chaudières actuelles; on peut citer la forme arrondie de l'extrémité du corps cylindrique et de la boîte à fumée, tout à fait identique à celle du *Cricket*.

Ces chaudières n'avaient qu'un seul foyer.

Peu après, Perignon, dans son brevet du 20 septembre 1855, décrit une chaudière marine à enveloppe circulaire, avec plusieurs foyers presque entièrement circulaires et tubes en retour ; l'inventeur a introduit, dans ce modèle, son système de foyers démontables. C'est, en somme, sauf ce détail, à peu près ce que les Anglais appellent *Scotch Boiler*, chaudière écossaise, c'est-à-dire le type actuel de chaudière marine à haute pression.

Quand ce modèle a-t-il commencé à paraître sur mer ? c'est assez difficile à savoir.

M. Bertin, dans son ouvrage sur les *Chaudières marines*, Paris, 1902, dit qu'on appelle ces chaudières écossaises, à cause de l'application faite, dès 1862, sur le *Velasquez* et le

Murillo, par Randolph et Elder, de Glasgow. C'est fort possible, mais nous croyons que ces chaudières n'étaient pas tout à fait du type qu'on baptise actuellement de ce nom.

En effet, dans son ouvrage *Modern system of Naval Architecture*, paru en 1865, Scott Russell décrit des chaudières à enveloppe circulaire construites, tout récemment, par Randolph et Elder, et dont les foyers, au nombre de trois sur chaque façade, ont une forme ovale irrégulière *(fig. 119)* et non cylindrique comme dans les chaudières écossaises, ainsi qu'il est indiqué dans l'autre moitié de la figure. Il ajoute que l'expérience faite de ces générateurs a engagé les constructeurs à en continuer l'emploi. Nous avons dit ailleurs que, dans ce même ouvrage, Scott Russell réserve le nom de chaudières écossaises aux chaudières verticales à tubes d'eau.

A ce propos, il peut être intéressant de dire qu'à la date du

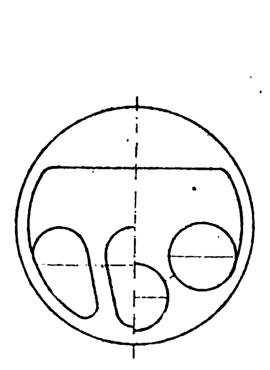


Fig. 119. — Formes de foyers de chaudière.

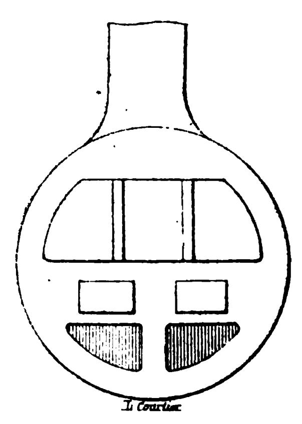


Fig. 120. — Forme de chaudière indiquée dès 1845.

26 décembre 1850 un brevet français fut pris au nom de Peter Borrie, de Londres, lequel brevet est la reproduction d'une patente anglaise au même nom, du 23 janvier 1845. Il s'agit d'un bateau à double coque sur lequel sont figurées deux chaudières tubulaires à enveloppes circulaires *(fig. 120)*, avec chacune deux foyers de la forme de ceux de la chaudière de Randolph et Elder; cette disposition devait être connue, car l'inventeur n'en revendique pas la propriété. Un dessin de ce bateau a été donné dans le *Practical Mechanics Journal*, vers 1852.

Mais la disposition avec foyers circulaires était déjà connue,

car Patridge, de Londres, prit, à la date du 10 juin 1858, un brevet français pour un surchauffeur de vapeur; le dessin représente ce surchauffeur appliqué à deux chaudières accolées à deux foyers circulaires chacune, exactement du type employé actuellement (1). L'inventeur ne revendique nullement l'idée de ce genre de chaudière, il se borne à indiquer l'application de son surchauffeur à une chaudière marine, ce qui prouve bien que ce modèle n'était déjà pas nouveau en 1858 et même en 1850.

Il y avait, à l'Exposition de Londres, en 1862, une machine de canonnière suédoise, dont le générateur n'était pas exposé, mais le constructeur, M. Frestadius, en avait communiqué les dessins à l'amiral Paris, qui donne quelques détails sur cette chaudière dans son *Art Naval à l'Exposition de Londres*, en 1862. Cette chaudière avait une enveloppe sensiblement circulaire de 1,69 m de diamètre vertical et 1,84 m de diamètre horizontal sur 3,25 m de longueur, et contenait un foyer à section circulaire de 0,78 m de diamètre et 70 tubes en retour placés au-dessus du foyer et sur les côtés; ces tubes avaient 80 mm de diamètre et 2,65 m de longueur. La pression était de 4 kg, la surface de grille de 1,44 m et la surface de chauffe de 47 m^2.

Deux chaudières semblables formaient l'appareil évaporatoire du navire. On voit que ce système de générateur était déjà connu en Suède en 1862 et probablement avant.

Benjamin Normand fit, en 1864, dans ce système, deux chaudières en tôle d'acier pour le *François-Ier*, du port du Havre, et nous croyons qu'il en avait déjà construit une ou deux auparavant pour un autre bateau; ses précédentes machines avaient des chaudières type de locomotives.

Il semble, toutefois, que ce type de chaudières ne devint courant en Angleterre que vers 1868, car la première mention que nous en trouvons dans les périodiques anglais est un article de l'*Engineer*, du 23 octobre 1868, où il était question du steamer *Head Quarters*, portant deux chaudières cylindriques de 3,20 m de diamètre et 2,44 m de longueur avec chacune deux foyers circulaires de 0,99 m de diamètre et 324 tubes de 75 mm de diamètre et 67 m de longueur. Ces chaudières fournissaient la vapeur à une machine compound à deux cylindres avec manivelles à 90 degrés. Le constructeur était la maison Aitkin et Cie, de Glasgow, et l'auteur des plans, A. C. Kirk, Ingénieur bien

(1) Nous reparlerons de ces chaudières à propos de la surchauffe.

connu. Le journal dit que le navire a reçu récemment cet appareil moteur et félicite M. Aitkin, pour avoir créé un des types les plus réussis et probablement le plus simple pour appliquer la double expansion aux machines marines. L'expression créée s'applique-t-elle à la machine ou à la chaudière? Elle est aussi peu exacte pour l'une que pour l'autre. La chaudière était connue depuis dix ans au moins et la machine depuis plus de trente.

Antérieurement, à l'Exposition de 1867, à Paris, la maison Claparède, de Saint-Denis, exposait une chaudière de canonnière, timbrée à 5 kg, avec foyer cylindrique et tubes en retour. L'enveloppe avait 2 m de diamètre et 3,14 m de longueur, le foyer 0,80 m, les tubes, au nombre de 114, 70 mm de diamètre et 2 m de longueur. Il est dit, dans l'ouvrage intitulé *Les machines à vapeur marines à l'Exposition de 1867*, que déjà un certain nombre de chaudières, construites sur ce modèle, sont en service sur les chaloupes à vapeur de la flotte (1). La même maison construisit un peu plus tard, 1870, des générateurs de ce type pour la frégate à vapeur la *Résolue;* ce fut la première application à un navire un peu important de la marine militaire française. Ces chaudières fonctionnaient à 4 kg de pression absolue, le poids ressortait à 80 kg environ pour le métal et à 40 pour l'eau, total 120 kg alors qu'on ne descendait guère au dessous de 150 à 160 avec les chaudières tubulaires à moyenne pression du type réglementaire.

On voyait, à la même Exposition, des modèles de chaudières de bateaux du Danube; certaines de ces chaudières avaient des enveloppes circulaires et des foyers de même forme, d'autres des enveloppes de forme elliptique. Ces modèles sont au Conservatoire des Arts et Métiers. La plus grande a six foyers ovales. Ce type était dû à M. Andreae, Ingénieur en chef de la Compagnie de Navigation du Danube, qui aurait mis le premier exemplaire en service en 1864; il y en avait déjà une cinquantaine en 1867. On trouvera des détails intéressants sur ce système dans l'*Engineer* du 23 août 1867. Il y est dit que la chaudière à six foyers dont nous venons de parler avait 284 m² de surface de chauffe et 10,2 m² de surface de grille. Elle pesait, vide, 23 t et 41 pleine. Le poids par mètre carré ressortait donc à 81 et 144 kg, chiffres assurément peu élevés.

(1) La maison Claparède paraît avoir commencé la construction de ce genre de chaudières vers 1864.



Les chaudières cylindriques à retour de flamme, sans que leur principe ait changé en rien, se font avec une grande variété de détails; elles sont à simple ou double façade; selon la puissance, elles ont de deux à quatre foyers pour les chaudières simples; leur diamètre a été porté jusqu'à 5,20 m et la longueur jusqu'à 3,70 m pour les chaudières simples et à 6,50 m pour les chaudières doubles. On leur fait aujourd'hui supporter des pressions allant à 15 kg.

Nous devons mentionner qu'on a fait quelquefois les enveloppes de ces chaudières ovales ou plus exactement formées de deux demi-cercles raccordés par des parois planes entretoisées ensemble. Ces générateurs occupaient moins de place dans le sens de la largeur et étaient ainsi plus faciles à loger dans les coques. On paraît avoir renoncé à cette disposition.

Les foyers ont de 0,80 à 1,10 m de diamètre. Pour les pressions élevées, on a dû renforcer ces foyers en leur donnant de la résistance à l'écrasement par l'addition de nervures extérieures ou d'ondulations.

On attribue à Fairbairn l'introduction de cercles en fer autour

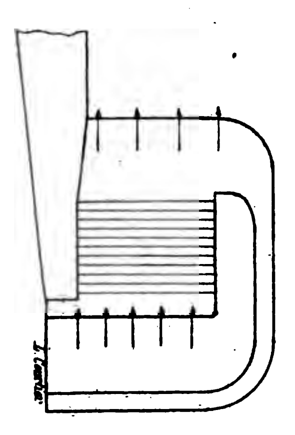


Fig. 121. — Brevet Mazeline en 1849.

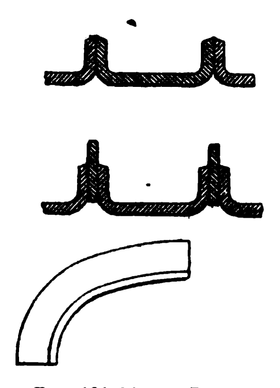


Fig. 121 bis. — Brevet Mazeline en 1849.

des foyers circulaires des chaudières type Lancashire; nous ignorons à quelle époque cela remonterait. Mais il y a un brevet français du constructeur déjà nommé, notre collègue Mazeline, en date du 27 octobre 1849, pour la construction de foyers de chaudières marines avec les ciels formés de pièces réunies par des collets rabattus formant nervures *(fig. 121)*; l'inventeur appliquait la même disposition aux enveloppes pour la partie supérieure. Il

est intéressant d'indiquer que ces chaudières devaient, dans le brevet, fournir la vapeur à un appareil formé de deux machines chacune à trois cylindres fonctionnant dans le système Woolf, les trois pistons ayant leurs tiges réunies par une traverse et marchant ensemble. La disposition de foyer dont nous venons de parler a été appliquée, il y a quelques années, à des locomotives du Chemin de fer d'Orléans, par Ernest Polonceau, dont le brevet est du 25 avril 1878.

On trouve un brevet français d'importation, daté du 7 janvier 1854, au nom de Remond, à Birmingham, pour des foyers circulaires ondulés du genre de ceux d'aujourd'hui; l'inventeur indique le procédé de fabrication au moyen de laminoirs à cannelures; la figure 122 représente la forme de ces ondulations.

On sait que Samson Fox, des Forges de Leeds, proposa de nouveau ce système en 1876, et parvint à le faire adopter. Nous avons été un des premiers, sinon même le premier, à l'introduire en France, et cela sur les bateaux toueurs de la Compagnie du Touage de Conflans à la Mer, dont les chaudières reçurent des foyers de ce genre dès 1879. Fox ne revendiquait, du reste, que le procédé de fabrication; son brevet français est du 29 juin 1878. Ce système de foyers est aujourd'hui d'un emploi très général pour les chaudières marines et même fixes; nous avons indiqué qu'on l'a essayé sans grand succès sur les locomotives.

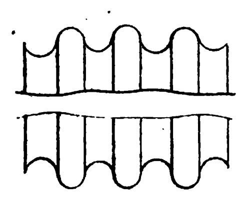


Fig. 122. — Foyers ondulés brevetés par Remond en 1851.

Nous venons de passer rapidement en revue les dispositions principales de chaudières employées ou proposées pour les diverses applications de la machine à vapeur. Il serait intéressant de poursuivre avec la même méthode et dans le même ordre d'idées ces études sur les accessoires des chaudières tels que foyers, grilles, cheminées, appareils de sûreté et d'alimentation; une telle étude nous obligerait à sortir du cadre que nous nous sommes imposé pour ce travail qui, nous ne saurions trop le répéter, ne constitue qu'un simple essai.

Le Secrétaire Administratif, Gérant :

A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20, Paris. — 12648-6-08. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

SEPTEMBRE 1908

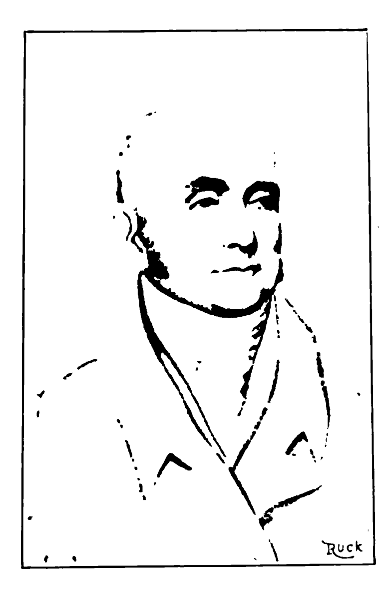
N° 9



Richard Trevithick (1771-1833).



Robert Fulton (1765-1815).



Jacob Perkins (1766-1849).



John Ericsson (1803-1889).

ÉVOLUTION PRATIQUE

DE LA

MACHINE A VAPEUR

PAR

M. A. MALLET

DEUXIÈME PARTIE

CONDENSATION PAR SURFACE

CHAPITRE VIII.

L'emploi général de la haute pression sur les navires de mer, qui a été un immense progrès ayant entraîné des conséquences incalculables, et qui date de trente ans à peine, n'a été rendu possible que grâce à l'introduction de la condensation par surface permettant d'alimenter les chaudières à l'eau douce.

Nous nous proposons d'exposer ici d'une manière sommaire l'origine et l'évolution de ce procédé, qui a mis le mécanicien a même de tirer d'un autre progrès, très considérable aussi, l'expansion multiple ou expansion en cylindres successifs, tous les avantages qu'il était susceptible de donner par l'emploi de pressions plus élevées. Ces deux progrès se sont complétés mutuellement, mais, bien que chacun ait eu sa part dans les magnifiques résultats dont nous sommes les témoins, il semble bien que l'introduction de la condensation par surface doive être considérée comme le fait le plus important que le XIXe siècle ait eu à enregistrer dans le domaine de la navigation maritime par la vapeur. Sans elle, en effet, nous n'aurions ni les paquebots à grande vitesse, ni les grands navires de guerre, ni les torpilleurs.

Sans vouloir entrer ici dans des considérations que ne comporte pas le cadre de ce travail, nous nous contenterons de faire saisir au lecteur, par un exemple, le point de départ de ce qui a été une véritable révolution dans la marine.

Prenons un paquebot transatlantique à hélice, du type normal vers 1865, c'est-à-dire déplaçant 5 000 tx et portant une machine

à moyenne pression développant 3 500 ch; ce moteur, dépensant 1,60 kg de combustible par cheval indiqué et par heure, assurait une vitesse de 12 à 13 nœuds.

Si, sans rien changer à la coque et au propulseur, on remplace l'appareil moteur de ce paquebot par un autre, composé de chaudières à haute pression, d'une machine à double expansion et d'un condenseur à surface permettant d'alimenter les générateurs à l'eau douce, on réduira la consommation de combustible à 1 kg et même moins par cheval-heure. Pour la même puissance de 3 500 ch, l'économie de 0,60 kg par cheval sera donc par heure de 2,1 t, par vingt-quatre heures de 50,4 et, pour une traversée de huit jours, de 403,2 t. D'autre part, l'importance de l'appareil évaporatoire sera réduite dans la même proportion que la consommation de vapeur et, malgré la plus grande épaisseur des tôles et divers accroissements de résistance nécessités par l'élévation de la pression et la présence du condenseur à surface, le poids du moteur se trouvera réduit, par exemple, de 200 kg par cheval indiqué à 175, ce qui, pour 3 500 ch, donne une réduction de poids de 87,5 t. Les réductions de poids du moteur et de la provision de combustible combinés forment un total de 490,7 t qu'on peut porter à 550 t au moins, si on tient compte de la réserve de combustible qu'on doit prendre en supplément pour parer aux éventualités et qui est proportionnelle à la consommation. Or, sur un navire de ce genre, le poids représenté par l'équipage et les passagers, les provisions et le chargement utile, s'élève à 1 000 t; on voit donc que 55 0/0 de ce chiffre se trouveront utilisables en supplément, grâce à la modification dont l'emploi de la condensation par surface a été le point de départ indispensable.

Les conséquences financières d'une amélioration de ce genre sont faciles à déduire; on voit aussi quelles sont, pour la marine militaire, les conséquence d'une marge aussi importante devenue disponible au profit de l'armement tant offensif que défensif, et on s'explique comment on peut aujourd'hui accumuler des puissances de plusieurs milliers de chevaux dans des navires de faible tonnage, comme les contre-torpilleurs et autres. Nous n'insisterons pas sur ce point, ce qui précède suffit pour faire comprendre l'immense intérêt d'un progrès dans lequel on serait tenté de ne voir, au premier abord, qu'un détail plus ou moins accessoire de la construction des machines à vapeur.

La condensation de la vapeur contenue dans un récipient peut se faire de diverses manières : 1° par le simple contact de ce ré-

cipient avec l'air ambiant; 2° par son contact avec de l'eau à une température plus basse que celle du récipient; 3° par l'introduction d'eau froide dans ce vase; ces trois méthodes sont : la condensation naturelle, la condensation par surface et la condensation par mélange. On pourrait ajouter, à la rigueur, la condensation par aspersion qui fait intervenir l'évaporation de l'eau extérieure, mais ce système n'a été appliqué qu'assez rarement dans les machines à vapeur. Nous en dirons un mot plus loin. Le principe en est toutefois utilisé très largement pour le refroidissement de l'eau de condensation.

Le premier mode de condensation fut employé par Papin, dans ses expériences; il retirait sa marmite du feu et la vapeur contenue se condensait au contact de l'air; ce n'était pas un procédé industriel. Dans les premières machines ayant donné des résultats pratiques, on arrosait d'eau les parois du réservoir contenant la vapeur après que celle-ci avait refoulé par sa pression l'eau dans un réservoir supérieur; c'était la condensation par surface employée d'abord par Savery.

A propos de Savery, rappelons le fait qui, d'après lui, l'aurait mis au courant des propriétés de la vapeur. Après avoir bu, dit-il, un flacon de vin de Toscane et jeté au feu le flacon vide, il demanda un bassin pour se laver les mains. S'étant aperçu que le peu de vin resté dans la bouteille l'avait remplie de vapeur, il la prit par le col et en plongea le goulot dans l'eau du bassin; la vapeur se condensant, la pression de l'air fit remonter l'eau qui remplit le flacon.

Desaguliers conteste que Savery ait jamais fait cette expérience, parce que, dit-il, l'ascension de l'eau froide dans le flacon se fait si brusquement, que celui-ci est projeté hors de la main de l'opérateur et brisé. Sans examiner le plus ou moins de fondement de l'objection de Desaguliers, nous croyons que, si Savery a réellement fait l'expérience, il n'a pas su en tirer tous les enseignements qu'elle contenait, car, dans cette expérience, la condensation se faisait par contact direct de la vapeur avec l'eau, et ni Savery ni ses successeurs pendant plusieurs années n'ont songé à condenser la vapeur que par refroidissement extérieur des récipients qui la contenaient.

On sait, en effet, que, dans les machines de Newcomen, on avait disposé tout d'abord une enveloppe autour du cylindre pour recevoir de l'eau destinée à refroidir les parois du cylindre pour condenser la vapeur contenue, procédé extrêmement bar-

bare et lent puisqu'il fallait introduire cette eau pour la vider ensuite, sans compter l'énorme perte de calorique amenée par la nécessité de chauffer et refroidir successivement les parois du cylindre dans toute leur épaisseur. On sait aussi que, le piston d'une de ces machines se trouvant, par hasard, percé d'un petit trou, l'eau qui recouvrait le piston pour le rendre plus étanche, ayant passé par cette ouverture, vint condenser la vapeur en se mélangeant avec elle ; ce fait accidentel, constaté par suite de l'accélération produite dans la marche de la machine, amena l'introduction générale de la condensation par mélange ou injection, progrès considérable au double point de vue de l'économie de combustible et de la plus grande rapidité de fonctionnement de la machine.

Dans ses premiers essais, Watt employa un condenseur à surface formé de deux tubes en étain de 4 à 5 mm de diamètre intérieur et 0,30 m de longueur, débouchant à la partie supérieure dans une boîte où arrivait la vapeur et à la partie inférieure dans une autre communiquant avec la pompe à air. On dit qu'il essaya plus en grand ce système et y renonça parce que la vapeur ne se condensait pas assez rapidement.

Est-ce comme reste de cette première idée que les condenseurs des machines de Boulton et Watt étaient contenus dans des bâches pleines d'eau, ou était-ce seulement pour prévenir les rentrées d'air se faisant par des joints imparfaits?

Cette disposition n'a pas été généralement imitée, et, dans les bateaux à vapeur on ne l'a vue que très exceptionnellement, par exemple quand, en présence d'une fêlure du condenseur, un mécanicien intelligent construit, avec les moyens du bord, une caisse en bois pour noyer dans l'eau le condenseur avarié.

Le Dr Lardner rapporte avoir vu entre les mains de Watt fils un dessin d'un condenseur à surface étudié par son père en 1776. Watt y renonça parce que le vide obtenu était insuffisant et que les tubes s'encrassaient rapidement.

En tout cas, le premier exemple de la condensation par surface employée d'une manière régulière est celui de la machine de Cartwright datant de 1797. L'emploi en était, il est vrai, imposé par celui de l'alcool, liquide trop coûteux pour qu'on le laissât perdre. Le condenseur était formé par deux cylindres métalliques concentriques laissant entre eux un mince espace annulaire dans lequel la vapeur se condensait au contact des parois refroidies par un courant d'eau.

On est peu fixé sur les résultats donnés par cet appareil. Galloway, dans son *History and Progress of the Steam Engine* dit que cette machine fonctionnait avec un vide satisfaisant, donnant ainsi un démenti aux prédictions pessimistes de quelques Ingénieurs qui avaient annoncé qu'en employant pour la condensation un tube traversant la Tamise dans toute sa largeur, on n'obtiendrait jamais un vide suffisant. Il cite deux endroits dont un dans Londres, où la machine de Cartwright avait bien fonctionné.

Stuart, dans son *History and descriptive anecdotes on the Steam Engine* n'est pas aussi favorable ; il dit que ces machines avaient été d'abord bien accueillies dans les distilleries où on avait l'alcool à bon compte, mais qu'on dut renoncer à leur emploi parce que la condensation se faisait trop lentement et que, d'ailleurs, d'autres détails laissaient à désirer. Il ajoute très judicieusement que Watt avait mis plusieurs années pour réaliser une machine pratique et que, si on avait mis le même temps à améliorer les machines de Cartwright, on serait peut-être arrivé à des résultats satisfaisants.

Le même auteur dit un peu plus loin qu'un nommé Hase avait, à la même époque, proposé de faire traverser à la vapeur sortant du cylindre une série de tubes de faible diamètre placés avant le condenseur et refroidis à l'extérieur par un courant d'eau; l'eau chaude ainsi obtenue était envoyée directement à la chaudière. Il y avait là à la fois l'idée d'un condenseur à surface tubulaire et celle d'un réchauffeur d'eau d'alimentation.

Oliver Evans, dans son ouvrage sur les machines à vapeur, paru en 1805 et dont la traduction en français a été publiée à Paris en 1821, décrit une méthode de condensation qu'on a appelée depuis *condensation monhydrique*.

Pour éviter ces inconvénients (présence de l'air dans la chaudière et production d'incrustations dans celle-ci), nous perfectionnons, dit Evans, la condensation de la manière suivante : un vase en métal destiné à recevoir et à refroidir l'eau d'injection est plongé dans l'eau froide; à côté ou au-dessous du condenseur, ce vase est muni d'un réservoir d'air et l'eau est forcée, par l'élasticité de l'air contenu dans le réservoir à entrer dans le condenseur en forme de jet. La pompe à air et à eau chaude tire l'air et l'eau du condenseur et renvoie au vaisseau d'injection autant d'eau qu'il en peut contenir; le reste qui se trouve dans le vase est forcé par la même pompe à entrer dans la

chaudière après avoir laissé échapper l'air par une ouverture à soupape qui est pratiquée dans le haut d'un réservoir d'air disposé sur son passage dans son trajet du condenseur à la chaudière.

L'eau entre dans le vaisseau d'injection par une extrémité et en sort par l'autre, ce qui lui donne le temps de se refroidir et la rend propre à la condensation. Par ce moyen, nous évitons l'introduction d'aucune nouvelle eau et nous continuons à travailler avec la même quantité que nous avions en commençant l'opération. Il peut être convenable de donner au condenseur assez de capacité pour qu'il expose à l'eau froide une surface suffisamment étendue pour condenser la vapeur sans injection; dans ce cas, il serait à souhaiter que l'on pût le placer dans un courant d'eau susceptible d'être détourné afin de pouvoir, au besoin, mettre le condenseur à sec.

Dans la première partie de cette citation, se trouve clairement indiqué le principe de la condensation par la même eau toujours refroidie, système dont il semble qu'on doit faire remonter l'idée à Evans, et qui a été souvent reproduite depuis, comme nous le verrons plus loin; dans la seconde se trouve rappelé le principe déjà connu de la condensation par surface. On ne sait si Evans a fait l'application de la condensation monhydrique.

On ne paraît pas s'être préoccupé de la question de la condensation par surface dans les premiers temps de l'application de la vapeur à la navigation. David Napier fut le premier à la reprendre et l'appliqua en 1822, dit John Scott Russell *(The Nature, properties and application of the Steam)*, à la machine d'un bateau appelé le *Post Boy*, de 30 ch, naviguant sur la Clyde. Le condenseur de ce bateau était formé d'une série de tubes de 15 mm de diamètre et 3,60 m de longueur, traversés par la vapeur sortant du cylindre et refroidis extérieurement par un courant d'eau; on employait ainsi toujours la même eau pour alimenter la chaudière. On ne trouva pas, paraît-il, cette méthode suffisamment efficace et on revint au système ordinaire; il paraît, cependant, que D. Napier reprit quelque temps après son idée en faisant le condenseur avec des lames de tôle reliées ensemble de manière à former des capacités aplaties remplaçant les tubes, et on dit que le bateau marcha plusieurs années avec ce condenseur.

En 1825, Thomas Howard proposa, à l'imitation de Cartwright, une machine fonctionnant par la vapeur d'alcool et dut, naturellement, recourir à l'emploi de la condensation par surface

pour ne pas perdre ce liquide coûteux. Le condenseur se composait d'une série de petits tubes verticaux reliant une capacité où arrivait la vapeur venant du cylindre à une autre capacité où se réunissait l'alcool condensé. Ces petits tubes étaient enveloppés de flanelle ou toute autre matière de nature poreuse et leur extrémité supérieure recevait de l'eau tombant par gouttes ou petits filets d'un réservoir; un ventilateur amenait sur les surfaces poreuses un courant d'air rapide qui évaporait l'eau dont la flanelle était imbibée et enlevait la chaleur des tubes en produisant la condensation de la vapeur d'alcool. Il ne paraît pas que ce système fort intéressant ait reçu alors d'applications.

L'année suivante, Howard proposa, en l'appliquant à l'alcool, l'éther et aussi l'eau, le système de machine à vaporisation instantanée à bain de mercure dont il a été question dans une partie précédente de ce travail. L'inventeur employait la condensation monhydrique proposée déjà par Evans. L'eau d'injection, prise dans le condenseur, était refroidie par sa circulation dans un serpentin refroidi extérieurement et réintroduite au condenseur ensuite (*fig. 123*). On a vu que le système de Howard avait été l'objet de plusieurs applications avec la vapeur d'eau. Nous ignorons absolument si, dans ces applications, il avait été fait usage du système de condensation dont il vient d'être question, mais nous le considérons comme probable, à cause des avantages que ce système présentait à la mer.

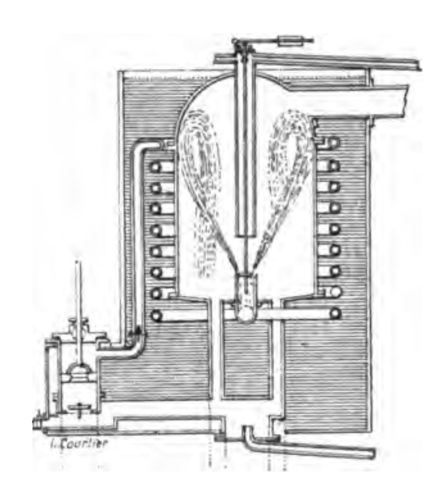


Fig. 123. — Condenseur monhydrique de Howard (1828).

En tout cas, le condenseur d'Howard fut appliqué, mais plus tard, à plusieurs navires munis de machines ordinaires. Nous citerons, entre autres, le *Magician* faisant le service du bas de la Tamise construit en 1841 et portant des machines et une chaudière tubulaire de Penn et un condenseur Howard.

A peu près à la même époque, W. Symington employa la condensation monhydrique suivant la même méthode que Howard, mais avec une modification consistant à opérer le refroidisse-

ment de l'eau de condensation dans des tubes placés à l'extérieur le long de la coque. Ce système fut appliqué, avec quelque succès, paraît-il, à plusieurs bateaux, savoir le *City of Londonderry*, le *Dragon* et le *Fletcher's Dispatch*, ce dernier remorqueur du port de Hull. On trouve, dans le *Mechanic's Magazine*, vol. XXV, 1841, une polémique entre Howard et Symington à propos de leurs systèmes respectifs de condensation.

Braitwaithe et Ericsson firent peu après, en 1829, quelques applications de la condensation par surface sur des machines de bateaux pourvues de leur chaudière tubulaire à haute pression. Le condenseur à surface du bateau *Louis* construit à Seraing d'après les plans de ces inventeurs est décrit dans la *Zeitschrift des Vereines Deutscher-Ingenieure*, 1891, page 844, avec des dessins retrouvés par notre distingué collègue M. Krafft, dans les archives de la Société John Cockerill.

Ce condenseur *(fig. 124)* se composait d'un corps horizontal en

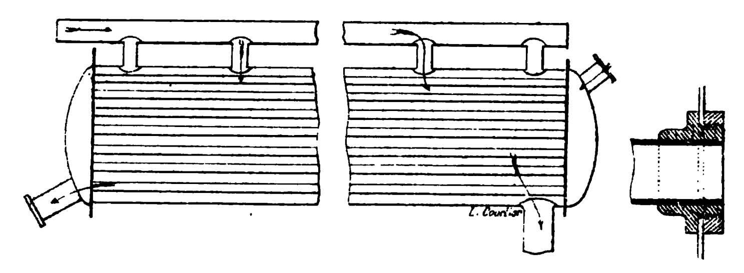


Fig. 124. — Condenseur à surface d'Ericsson (1829).

tôle de 0,76 m de diamètre et 2,74 m de longueur contenant soixante tubes en cuivre de 44 mm de diamètre; ces tubes pesaient 14,5 kg le mètre carré, ils donnaient une surface totale de 22,7 m². Ils étaient fixés par des écrous dans des plaques tubulaires en bronze ; des couvercles bombés, également en bronze, formaient des chambres aux deux extrémités. La vapeur passait dans les tubes et l'eau au dehors; celle-ci arrivait par un tube de 0,16 m de diamètre placé parallèlement au condenseur et au-dessus et était relié à celui-ci par six branchements de 60 mm de diamètre pour répartir l'eau froide sur toute la longueur des tubes. On eut des ennuis de toute sorte avec l'appareil moteur du *Louis* et, après avoir dépensé beaucoup d'argent en essais, on finit par le remplacer par une machine ordinaire à basse pression.

On trouvera un exemple intéressant des difficultés éprouvées

avec ces premiers appareils à haute pression dans le résumé que nous faisons ici d'un très curieux article donné par l'*Engineer*, dans son numéro du 17 mars 1905, sous le titre : *The log of an early steamship*. Il s'agit de l'expédition de Sir John Ross dans les régions arctiques, faite de 1829 à 1833. Cet article se rattache beaucoup plus au sujet dont nous nous occupons que son titre pourrait le faire supposer.

On acheta pour cette expédition un bateau à vapeur de la ligne de Liverpool à l'île de Man appelé le *Victory*. Ce bateau, qui n'était pas neuf, reçut une machine à haute pression avec condenseur à surface et chaudière à tubes à tirage forcé au moyen d'air envoyé sous la grille par des soufflets. Bien que les noms de Braitwaithe et Ericsson ne soient pas prononcés, il est d'autant plus impossible de ne pas leur attribuer la paternité de cette machine que l'article ajoute que la chaudière était du même système que celle d'une des locomotives du concours du Rainhill. La similitude de l'ensemble de l'appareil moteur est, d'ailleurs, complète avec la machine construite à Seraing. Tout était, disons-le, patenté dans cet arrangement qui comportait, en outre, des roues d'un nouveau système avec désembrayage et immersion variable. Tout cela était bien compliqué pour une expédition dans les régions arctiques et on ne tarda pas à s'en apercevoir.

Le navire partit de Woolwich le 23 mai 1829. Le voyage ne fut qu'une suite ininterrompue de contre-temps causés par le mauvais fonctionnement de toutes les parties de l'appareil moteur. Le condenseur à surface commença à se déranger et, après une série de réparations, on finit par le mettre de côté en faisant marcher la machine à échappement direct à l'extérieur, ce que permettait la pression de 50 livres, 3,5 kg effectifs. Après cela, la petite machine qui actionnait les soufflets pour le tirage se détraqua et on dut aussi renoncer à son service, ce qui obligea à faire marcher les soufflets à bras d'hommes pendant le reste du voyage. Les deux chaudières, désormais alimentées à l'eau de mer, donnèrent lieu à des fuites si abondantes qu'à la fin de septembre Sir John Ross, désespérant de pouvoir utiliser son moteur, résolut de le débarquer pour alléger le navire, ce qui fut fait le 20 octobre, sur la côte de Margaret Bay, et de se servir uniquement de la voilure.

Cet acte énergique ne porta pas, d'ailleurs, bonheur à l'expédition, car le navire, pris dans les glaces, dut y passer trois

hivers. L'expédition fut ensuite obligée de l'abandonner et fut recueillie, en août 1833, par le navire *Isabelle*, de Hull; elle rentra en Angleterre en octobre de la même année après avoir, malgré toutes ces difficultés, obtenu de très utiles résultats.

Trevithick paraît s'être occupé de la condensation par surface et rapporte, dans sa correspondance avec Davies Gilbert, diverses expériences faites par lui pour condenser la vapeur sans injection d'eau, c'est-à-dire par refroidissement extérieur au moyen d'eau ou d'air. Il indique, dans une lettre du 30 décembre 1828, qu'une machine de Cornouailles pouvait marcher pendant vingt-cinq minutes sans injection par le simple contact du condenseur avec l'eau de la bâche qui entourait celui-ci et que cette eau s'échauffait de 10 à 55 degrés centigrades.

Dans une lettre du 5 mars 1829, il cite des essais faits avec de l'eau et de l'air comme agents de refroidissement : avec la première, la machine pouvait, sans injection au condenseur et simplement par refroidissement extérieur de celui-ci, donner dix coups par minute, tandis qu'avec le refroidissement par l'air elle ne pouvait dépasser quatre coups. Trevithick donne quelques chiffres relatifs au poids de vapeur condensée, mais ces chiffres sont trop invraisemblables pour qu'il soit utile de les donner ici. Nous nous bornerons à indiquer que les quantités de vapeur condensée par le simple contact de l'air, d'une part, dans une chaudière rouillée et, de l'autre, dans des tubes en étain de faible diamètre sont, à surface égale, dans le rapport de 1 à 2,65.

Trevithick prit, en 1830, une patente pour une disposition de chaudière tubulaire comportant, comme nous l'avons indiqué précédemment, une enveloppe formant condenseur à surface par un courant d'air qui, après son échauffement, servait à l'alimentation du foyer. Il prit, en 1832, une autre patente décrivant, avec une chaudière à tubes d'eau et un surchauffeur de vapeur, un condenseur tubulaire refroidi extérieurement, soit avec de l'eau, soit avec de l'air. Nous avons dit qu'un brevet d'importation en France avait été pris, en 1833, pour cette invention, par Edward Hall, de Dartford.

Nous avons indiqué, à l'occasition des chaudières à tubes d'eau que, vers 1830, deux bateaux de la Garonne, *l'Omnibus* et *l'Industrie*, munis de machines à haute pression de construction anglaise avec chaudières du type Gurney, condensaient, d'après ce que dit Tremtsuk dans son ouvrage, déjà cité, sur les bateaux à vapeur à Bordeaux, la vapeur dans des jeux d'or-

gues ingénieusement disposés, mais trop exigus pour produire de bons résultats; ces machines durent être remplacées au bout de très peu de temps. Le dessin de ces condenseurs est donné dans le brevet d'importation du 8 mai 1828 pour les chaudières Gurney, au nom de W. Keene, de Londres. Ce sont *(fig. 125)* des condenseurs à tubes verticaux que la vapeur parcourait de haut en bas, tandis que l'eau circulait autour en sens inverse.

Nous arrivons maintenant aux faits les plus importants de l'histoire de la condensation par surface, c'est-à-dire aux essais, et il serait plus juste de dire, aux applications, qui ont été faites de cette méthode par Samuel Hall.

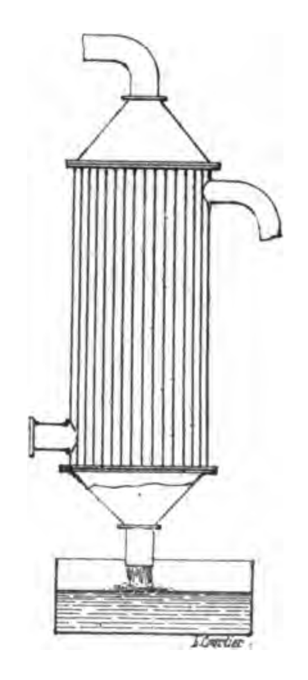


Fig. 125. — Condenseur de Gurney (1830).

Il est à remarquer que cet inventeur ne revendique nullement, ce qui lui aurait été d'ailleurs difficile, l'idée de principe de la condensation par surface; il se borne à préciser cinq points dont il ne revendique pas non plus la nouveauté, mais seulement la combinaison ensemble et, en outre, les proportions, considérant que c'est, en grande partie, l'ignorance de ces proportions qui a amené l'insuccès des tentatives faites précédemment dans le même but.

Ces cinq points sont :

1° L'emploi d'une quantité suffisante de surfaces métalliques sous forme de tubes, lames, etc., destinées à être mises en contact, d'une part, avec la vapeur condensée, de l'autre, avec l'eau réfrigérante. L'étendue de ces surfaces doit être d'environ 2800 pouces carrés pour condenser 60000 pouces cubes de vapeur par minute. Cette proportion, traduite en mesures métriques, donne 1 m² pour 538 l par minute ou 32 m³ en nombre rond par heure. Hall ne dit pas si le volume qu'il indique est à la pression de la chaudière ou à celle du condenseur. Si, comme c'est probable, il s'agit de la première, en supposant la pression de 4 livres, soit 1,33 kg absolus, les 32 m³ feraient un poids de 25 kg. Si on admet une dépense de 20 à 22 kg de vapeur par cheval-heure, la surface réfrigérante correspondrait à 1 m² pour

1,10 à 1,25 ch, ou inversement à 0,8 à 0,9 m² par cheval. Ces proportions sont très admissibles pour les conditions de fonctionnement des machines à basse pression de l'époque;

2° L'emploi d'une pompe pour la circulation de l'eau froide devant servir non seulement à condenser la vapeur, mais encore à l'amener à une température assez basse pour que le vide soit suffisant. Il faut compter, au minimum, 10 gallons d'eau pour un volume de 60 000 pouces cubes par minute, ce qui correspond, en mesures métriques, à 2 720 l pour condenser 45,6 m³ de vapeur par heure, soit 1 350 l environ par cheval-heure;

3° Une pompe à air de capacité convenable, c'est-à-dire la conservation de la pompe à air des machines ordinaires;

4° Un appareil distillatoire pour fournir la quantité d'eau nécessaire pour réparer les pertes par fuites et éviter toute introduction d'eau de mer dans les chaudières;

5° Un dispositif pour renvoyer aux chaudières l'eau provenant de la vapeur sortant par les soupapes de sûreté.

L'inventeur revendiquait pour ce système de condensation les avantages suivants :

1° Économie de combustible d'un tiers environ due à la suppression des extractions, à la transmission plus facile de la chaleur à travers des surfaces de chauffe toujours nettes, etc.;

2° Économie due au remplacement du combustible épargné par le même poids de fret payant;

3° Économie provenant du meilleur rendement commercial du navire en l'absence des chômages, des réparations et du nettoyage des chaudières;

4° Plus grande durée des chaudières et moindres dépenses de réparations;

5° Plus grande durée des machines amenée par la suppression de l'action des sels entraînés dans leurs parties intérieures et économie résultant de la suppression des fuites amenées par cette cause d'usure.

Le système de Hall reçut de nombreuses et importantes applications. L'ouvrage de Tredgold, *Steam Engine*, vol. II, 1838, dit que le condenseur de Hall a été employé avec des résultats très favorables, depuis quatre ans, sur plusieurs navires de 70 à 320 ch et sur plusieurs machines de terre; il estime que ce système est appelé à remplacer entièrement la condensation par mélange sur les navires de mer et considère comme acquis qu'un vapeur de 300 ch, muni du condenseur de Hall, donne

une économie annuelle de 65 000 à 75 000 f sur un navire semblable muni d'un condenseur ordinaire à injection.

Nous croyons intéressant de reproduire la liste donnée par Tredgold des navires portant des machines construites avec le condenseur de Hall ou auxquelles ce condenseur a été appliqué après coup :

Sirius, de 320 ch, appartenant à la *Saint-George Steam Packet Company*; ce navire a été affrété par la *British and American Steam Navigation Company* et a fait la première traversée aller et retour de l'Atlantique en avril 1838;

Megaera, de 140 ch, appartenant à la marine royale et attaché à la station navale de la Méditerranée;

Hercules, de 180 ch, appartenant à la *Saint-George Steam Packet Company* et faisant le service entre Glasgow, Dublin et Cork;

Sea Horse, de 260 ch, appartenant à la *Saint-George Steam Packet Company* et faisant le service entre Hull et Rotterdam;

Juno, de 260 ch, appartenant à la même Compagnie et faisant le service entre Londres et Cork;

Vulture, de 260 ch, même Compagnie et même service;

Tiger, de 300 ch, même Compagnie, faisant le service entre Hull et Hambourg;

Wilberforce, de 300 ch, appartenant à la *Humber Union Steam Company*, faisant le service entre Londres et Hull;

Windermere, de 60 ch, appartenant à la maison James Winder, de Liverpool, et faisant le service entre Liverpool et Ulverstone;

Albatross, de 70 ch, appartenant à la maison Beardman et Harwer, de Norwich, et faisant le service de Hull à Yarmouth;

Kilkenny, 300 ch, appartenant à la *Waterford Commercial Steam Navigation Company*, et faisant le service entre Londres et Waterford.

Il faut ajouter à ces navires, dit Tredgold, une paire de machines de 500 ch pour un vapeur de 1 863 tx, le *British Queen*, destiné au service transatlantique entre la Grande-Bretagne et les États-Unis, et une autre paire de machines de la même puissance en construction pour le *President*, navire de la *British and American Steam Navigation Company*, de 2 028 tx, destiné au même service. On sait que ce superbe paquebot, le plus grand de l'époque, disparut, sans qu'on en ait jamais eu de nouvelles, au cours d'une de ses traversées à la fin de 1841.

Citons enfin une paire de machines de 220 ch de puissance

pour un navire de la Compagnie des Indes Orientales, le *Queen of the East*.

A cette liste donnée par Tredgold, arrêtée en 1838, il faudrait ajouter encore un certain nombre de navires munis ultérieurement des condenseurs de Hall et dont le plus important est la frégate à roues de la marine anglaise, la *Penelope*, de 700 ch de puissance nominale, actionnée par une machine verticale à action directe de Seaward installée en 1842. C'était une frégate à voiles qu'on avait coupée en deux et allongée de 16,75 m.

On nous permettra de dire quelques mots de ce navire qui donna lieu à des observations piquantes. Le *Mechanic's Magazine*, du 9 août 1842, parle en termes emphatiques de cette frégate qu'il appelle la plus grande du monde, et de l'accroissement sérieux de puissance apporté par cette addition aux forces maritimes de l'Angleterre; celle-ci peut compter sur ses Ingénieurs, ses ateliers et sa science qui, non seulement n'ont pas de rivaux au monde, mais dont rien n'approche même de loin. Puis, comme, à l'époque, un journal technique anglais manquait rarement l'occasion de dauber sur l'industrie française, le périodique en question ajoute : « Il est notoire que la France n'a jamais pu produire une machine bonne à quelque chose de plus de 200 ch. Si la marine française donnait à l'industrie nationale une commande pour une machine de 700 ch, comme celle de la *Penelope*, qui doit être livrée en neuf mois, les fabricants français demanderaient pour la faire autant d'années, en supposant qu'ils fussent capables de l'exécuter.. »

Il est amusant de rapprocher de cette appréciation enthousiaste les renseignements qu'on trouve un peu plus tard dans les journaux anglais, par exemple le *Civil Engineer and Architect Journal*, de 1844, page 127 : « La *Penelope*, capitaine W. Jones, a quitté Lisbonne le 5 mars pour la côte d'Afrique. Chaque lettre écrite par les officiers et par l'équipage apporte des plaintes sur ce navire et le déclare complètement manqué comme frégate de premier rang. »

Nous pourrions multiplier ces citations. Finalement, la *Penelope* fut démolie en 1858 à Portsmouth sans avoir jamais pu faire de service sérieux. D'autre part, le brillant succès obtenu en 1843 par l'industrie française dans la construction de onze machines de 450 ch destinées aux paquebots transaltantiques, devenus plus tard des frégates à vapeur, est la meilleure réponse à la ridicule insinuation du *Mechanic's Magazine*, relativement aux ateliers français.

On peut y ajouter le témoignage suivant : Dans un rapport à la Société d'Encouragement inséré dans le Bulletin de décembre 1842, Calla dit avoir conduit dans les ateliers de Cavé le constructeur anglais Richard Roberts et c'est avec un juste sentiment d'orgueil national qu'il l'a entendu déclarer « que les appareils construits dans cet établissement ne le cédaient en rien aux meilleures machines anglaises et les surpassaient même sous plusieurs rapports ».

Voici quelques détails sur la disposition du condenseur de Hall.

La figure 126 représente un condenseur de ce genre pour une machine fixe; la vapeur arrivant du cylindre par la partie supé-

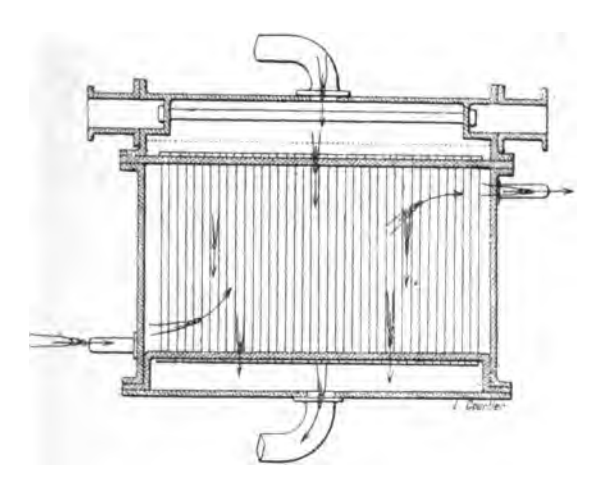


Fig. 126. — Condenseur à surface de Hall pour machine de terre.

rieure, comme l'indique la flèche, baigne d'abord les tubes horizontaux d'un réchauffeur d'eau d'alimentation, puis passe dans les tubes verticaux du condenseur pour être enlevée à la partie inférieure par la pompe à air. Une plaque horizontale perforée placée au-dessus des tubes divise la vapeur et la répartit dans toute l'étendue du faisceau tubulaire; l'eau circule autour des tubes dans le sens indiqué par les flèches.

La figure 127 représente un condenseur de machine marine. La vapeur arrive à la partie supérieure et est répartie sur les tubes par des cloisons; les plaques à tubes sont facilement démontables; elles sont, comme on voit, renforcées par des nervures. Ce condenseur se logeait à la place du condenseur

ordinaire. Une pompe, placée entre le cylindre à vapeur et le condenseur, entretenait la circulation de l'eau de réfrigération autour des tubes. Les joints des tubes avec les plaques de tête se faisaient au moyen de presse-étoupes garnis de coton représentés sur la figure. On nettoyait les tubes à l'intérieur par la partie supérieure en enlevant le couvercle qui la surmontait.

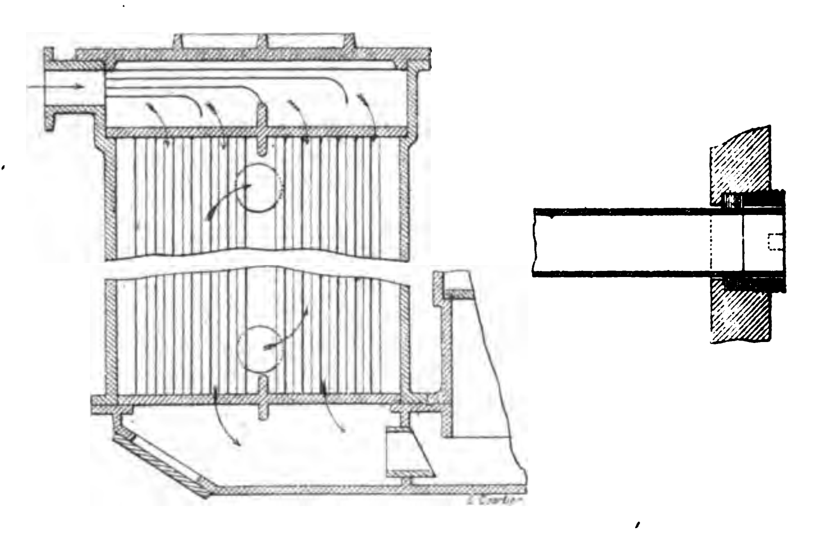


Fig. 127. — Condenseur à surface de Hall pour machine marine (1835).

Le *Wilberforce*, dont la machine développait, à 21 tours par minute, avec 1,30 kg de pression absolue aux chaudières et 0,74 m de mercure de vide au condenseur, 568 ch indiqués sur les pistons, avait dans chacun de ses deux condenseurs 2 374 tubes en cuivre de 12,5 mm de diamètre et 2,42 m de hauteur, donnant une surface de refroidissement de 227 m², soit 454 m² pour les deux, ce qui correspond à 0,80 m² par cheval indiqué. La longueur totale des tubes des deux condenseurs était de 11 490 m.

Les prévisions favorables formulées dès le début ne se réalisèrent qu'incomplètement et, malgré des applications aussi importantes réparties sur environ huit ans, la condensation par surface ne prévalut pas alors. John Bourne, après avoir mentionné (*Treatise on the Steam Engine*, 1846, page 64) l'application faite sur le *British Queen*, dit : « On renonce actuellement d'une manière générale à ce système parce que son poids et son prix

sont des objections formidables à son emploi et qu'il ne préserve pas les chaudières contre la corrosion. L'usage de l'eau de mer présente peu d'inconvénient si on a soin de faire des extractions fréquentes et la durée des générateurs est peu ou point augmentée par l'emploi de l'eau douce. »

Il est facile de s'expliquer pourquoi on a dû abandonner le condenseur de Hall, malgré les résultats favorables obtenus au début. Les machines à basse pression auxquelles on l'appliquait dépensaient beaucoup de vapeur ; il fallait donc, pour condenser cette vapeur, des appareils très volumineux, lourds et coûteux.

D'autre part, l'avantage réalisé était assez faible puisqu'on pouvait éviter, en grande partie au moins, les dépôts dans les chaudières au moyen d'extractions bien dirigées ; l'économie obtenue se bornait donc à peu près à celle qui résulte de la suppression des extractions, laquelle, comme on le verra plus loin, est assez faible. On a pu dire, avec raison, que lorsque le condenseur de Hall fut employé pour réaliser la condensation par surface, celle-ci présentait le maximum d'inconvénients et le minimum d'avantages.

Pour faire bien comprendre ce qui précède, il est nécessaire d'entrer dans quelques considérations sur l'alimentation des chaudières à l'eau de mer. On sait que celle-ci contient en moyenne 3,5 0/0 de son poids de matières salines en dissolution, dont 2,65 0/0 de sel marin (chlorure de sodium) et le reste composé de sulfates de chaux, de magnésie, etc.

Si les anciennes machines marines à basse pression dépensaient 20 kg de vapeur en nombre rond par cheval indiqué et par heure, ce poids de vapeur correspondait à 20 (1,035 $\times$ 0,035) = 0,362 kg de sel par heure contenus dans l'eau d'alimentation par kilogramme, soit 8,69 kg par vingt-quatre heures. Les frégates à vapeur de 450 ch, construites en 1843 et dont la machine développait environ 900 ch indiqués sur les pistons, auraient reçu ainsi par vingt-quatre heures près de 8000 kg de sel dans leurs chaudières. Si on estime la surface totale des parois intérieures au double de la surface de chauffe et la densité des dépôts à 1,500 kg par mètre cube, on arrive à une épaisseur de 6 mm dans cet espace de temps (1).

On comprend dès lors qu'au bout de quelques heures de

(1) Campaignac fait observer qu'en réalité l'épaisseur serait notablement moindre parce que l'agitation de l'eau des chaudières causée par les mouvements du navire à la mer tend à entraver la formation de dépôts salins stratifiés.

marche la chaleur ne devrait plus passer que très difficilement à travers les tôles et que celles-ci commenceraient à rougir.

Pour remédier à l'impossibilité matérielle d'un fonctionnement un peu prolongé qui résulte de ces conditions, on avait l'habitude de faire des extractions, c'est-à-dire qu'on évacuait de la chaudière pendant la marche, soit d'une façon continue, soit par intervalles réguliers, une partie de l'eau saturée qu'on remplaçait par de l'eau fraîche prise à la bâche et provenant de la mer. On réglait cette évacuation de manière à maintenir la saturation dans la chaudière à un degré déterminé par la nécessité de ne pas laisser déposer trop de sel. Ainsi, par exemple, si on voulait limiter la proportion de sel à 10,5 0/0, proportion triple de celle de l'eau de mer naturelle, on devait introduire 1,5 d'eau pour 1 à vaporiser et 0,5 à évacuer pour les extractions. Si la température de la vapeur était de 110 degrés, correspondant à une pression absolue de 1,30 atm, et celle de l'eau d'alimentation de 40 degrés, on évacuait 0,5 d'eau contenant $110 - 40 = 70$ calories par kilogramme ou $70 \times 0,5 = 35$ calories pour la quantité perdue par l'extraction sur une quantité totale de 635 calories employées, dont 35 pour les 0,5 correspondant à l'extraction et 600 pour le kilogramme réduit en vapeur; la perte est donc de $35/635 = 5,5$ 0/0.

C'est à peu de chose près l'économie qu'on obtient, dans ces conditions, de la suppression des extractions au moyen de l'alimentation par la même eau, c'est donc à peu près insignifiant en présence des inconvénients présentés par l'emploi de la condensation par surface appliquée aux machines à basse pression et il faut ajouter qu'on peut employer des réchauffeurs pour restituer à l'eau d'alimentation, avant son entrée aux chaudières, tout ou partie de la chaleur emportée à la mer par l'eau évacuée.

Mais, lorsque les résultats obtenus avec les machines compound eurent fait comprendre l'utilité de pressions plus élevées, soit pour accentuer leurs avantages, soit pour tâcher d'obtenir les mêmes résultats sans leur emploi, la question changea absolument de face. Dès lors, il devenait tout à fait indispensable de recourir à l'usage de la condensation par surface, parce qu'en présence des températures plus élevées il se produisait avec l'eau de mer de nouveaux phénomènes, tels que la précipitation du sulfate de chaux par le simple chauffage de l'eau aux environs de 140 degrés et que les extractions devenaient par suite sans

effet contre les dépôts (1). Ajoutons que l'emploi de la condensation par surface se trouvait en même temps grandement facilité par la réduction de la dépense de vapeur des nouvelles machines, réduction qui permettait de ramener les condenseurs à des dimensions raisonnables.

On voit que, si cette dépense, de 20 kg par cheval qu'elle était à l'origine, tombait, par exemple, à 10 kg, les dimensions et poids du condenseur se trouvaient réduits dans une proportion correspondante ; la situation nouvelle pouvait se définir par l'inverse de la formule précédente, c'est-à-dire que la condensation par surface présentait maintenant le maximum d'avantages et le minimum d'inconvénients.

On a vu que Hall n'avait pas fait figurer dans les avantages de son système la possibilité d'employer des pressions plus élevées. Il est probable qu'il n'avait pas envisagé ce côté de la question ; on ne connaissait pas encore bien alors les phénomènes qui amènent la formation des dépôts. Hall n'eût d'ailleurs rien gagné, croyons-nous, à invoquer un avantage de ce genre, car la haute pression était vue de très mauvais œil à cette époque dans les milieux maritimes.

Au moment où Hall mettait en Angleterre des condenseurs à surface sur des machines à basse pression, à une faible distance, en Hollande, Roentgen faisait des machines compound à haute pression pour les rivières et introduisait même assez timidement ce système sur mer avec des pressions plus modérées. Si Hall et Roentgen s'étaient rencontrés et avaient uni leurs efforts, la révolution qui s'est produite vers 1870 aurait pu avoir lieu vingt-cinq ans plus tôt, au moins dans une certaine mesure. Mais, à cette époque, les éléments qui eussent pu rendre ces progrès vraiment utiles n'existaient pas et le besoin ne se faisait pas encore sentir, comme il s'est produit depuis, de machines économiques. Un perfectionnement n'a de vraies chances de réussir que lorsqu'il devient indispensable. Le pis qui puisse arriver à un inventeur, c'est de venir trop tôt ; les exceptions à ce principe sont très rares.

Nous devons dire cependant que Roentgen n'était pas sans connaître et apprécier dans une certaine mesure les avantages

(1) A la suite d'expériences faites aux ateliers Cavé et d'applications sur les vapeurs de l'État : le *Phare*, le *Vautour* et le *Papin*, la Marine avait, vers 1835, acheté d'une personne du nom de Chaix un procédé consistant à combattre l'adhérence des dépôts par l'injection dans les chaudières d'eau contenant en suspension de l'argile. Ce procédé fut pendant un certain temps réglementaire sur la flotte à vapeur.

du condenseur à surface, car la liste des machines compound faites aux ateliers de Feyenoord, de 1829 à 1843, porte, sous le numéro 16, la mention suivante :

« *Rotterdam*, 1839 ; ce navire qui, d'abord, portait le nom de *Wilhelm III*, avait une machine avec condenseur à surface qui fut bientôt remplacée par un condenseur à injection ; les cylindres avaient 0,406 et 0,812 m de diamètre et 0,915 m de course. Ce bateau, comme presque tous ceux qui portaient des machines analogues, étant destiné à la navigation fluviale, l'avantage du condenseur à surface était très faible et ne compensait pas les inconvénients; c'est ce qui explique l'abandon de cet appareil dans le cas présent. »

On ne saurait omettre de rappeler ici que le condenseur à surface eut alors contre lui l'influence de détails d'ordre secondaire en apparence, influence qui amena en grande partie son insuccès momentané, par exemple les matières grasses amenées par la vapeur qui bouchaient rapidement les tubes et dont on ne savait pas se débarrasser au moyen de la soude en dissolution, les innombrables joints de tubes pour lesquels on n'avait pas alors la ressource du caoutchouc qui a beaucoup fait pour le succès des condenseurs à surface lors de la reprise de la question. C'est une nouvelle application de l'axiome trop perdu de vue par les inventeurs : en mécanique, on ne réussit que par les détails. Combien de fois des appareils, très ingénieusement combinés et parfaits en théorie, n'ont-ils pas échoué en pratique par des questions d'ajustage, d'usure, d'impossibilité de démontage, etc., jugées d'abord sans importance !

Nous avons dit que la marine française n'avait fait aucun essai du condenseur de Hall. Dans la période de 1830 à 1840, on trouve peu de chose en France sur ce sujet. Nous devons noter, toutefois, que Galy Cazalat prit, à la date du 9 août 1830, un brevet pour l'emploi de surfaces métalliques fixées sur la carène des bateaux de manière à former des capacités refroidies extérieurement par l'eau et communiquant avec le tuyau d'échappement de la machine motrice.

En 1835, Pecqueur proposait des dispositions analogues et aussi un véritable condenseur à surface à tubes, qu'on trouvera décrit dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de 1835, page 480. En 1837, Galy Cazalat émettait l'idée de disposer dans les tambours des bateaux à vapeur des enveloppes servant de condenseurs, enveloppes dont les surfaces extérieures étaient refroi-

dies par le mélange d'air et d'eau projeté par les palettes des roues.

Dans un ouvrage de l'*Encyclopédie Roret*, intitulé *Manuel des Machines à vapeur appliquées à l'Industrie*, par Janvier, officier de marine, publié en 1838, l'auteur donne la description du procédé de condensation de Howard et de Hall et termine par ces curieuses considérations : « Supposons qu'au dégorgeoir de la bâche qui rejette l'eau venant du condenseur en dehors du navire on adapte un tube de cuivre qui descende en dessous de la flottaison, et longe le navire horizontalement en l'entourant par l'avant et par l'arrière et vienne enfin se terminer à la prise d'eau d'injection. Ce tube, enveloppé de toute part par le liquide ambiant qui supporte le navire, donnera lieu à un échange continuel de température et l'eau extérieure enlèvera le calorique à l'eau intérieure, de sorte que celle-ci acquerra rapidement le degré de froid convenable pour servir de nouveau à la condensation de la vapeur. »

Janvier, après avoir indiqué cette disposition, dit que, comme variante, on peut adapter le tube à l'intérieur du navire en le plaçant dans un autre tube débouchant à l'arrière et à l'avant, de sorte que l'eau extérieure passât par l'espace annulaire.

En disposant les courants en sens inverse, on opérerait un refroidissement méthodique. En laissant le tube à l'extérieur, on pourrait l'encastrer dans la carène en lui donnant une forme aplatie. C'est, comme on voit, une application à la navigation du système de condensation monhydrique proposé pour la première fois par Evans (1).

Disons ici, pour n'y plus revenir, que plus tard, en 1853, notre regretté collègue Queruel, mécanicien distingué auquel on doit des progrès sérieux dans les machines à vapeur, construisit, dans son atelier de Passy, un petit bateau à vapeur à hélice dont la quille en fer creux formait condenseur à surface; il obtenait un vide de 0,70 à 0,72 de mercure; la surface de refroidissement était de 0,33 m² par cheval; l'eau provenant de la vapeur condensée était à 15 à 18 degrés en hiver et à 30 à 35 degrés en été. Cette disposition a été brevetée par Queruel à la date du 14 juin 1852.

Nous ne devons pas omettre de signaler que, vers 1840, l'habile mécanicien Beslay, dont nous avons cité le nom à propos

(1) Nous avons indiqué précédemment que la disposition décrite ici par Janvier avait été appliquée peu de temps après par Symington en Angleterre.

de ses chaudières, avait proposé des condenseurs à surface formés de faisceaux de tubes dont la section, au lieu d'être circulaire, était cruciforme, pour donner plus de surface de refroidissement; ces tubes étaient obtenus par étirage d'après le procédé de Palmer.

Dans leurs *Études sur la navigation fluviale par la vapeur*, publiées en 1846, Mathias et Callon s'occupent, bien qu'accessoirement, du condenseur à surface qui leur paraît appelé à jouer bientôt un rôle important sur les steamers de mer; ils donnent un avant-projet, très intéressant, visant la substitution, dans un paquebot transatlantique du type construit en 1843, d'un appareil moteur à haute pression, action directe et condensation par surface, aux lourdes machines à balanciers à basse pression dont ces paquebots étaient munis.

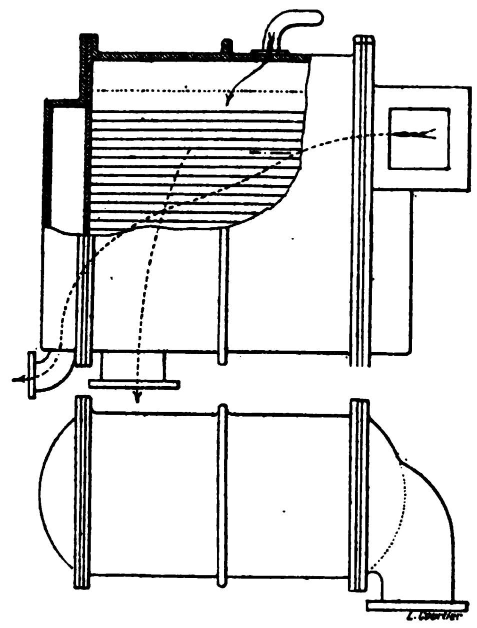


Fig. 128. — Condenseur à double vide de Pirsson (1851).

On a employé, dès 1851, aux États-Unis, un système de condenseur à surface qui a donné de très bons résultats et a été l'objet d'importantes applications : c'est le condenseur dit *à double vide*, de Pirsson. Le brevet d'importation en France est du 14 mai 1851.

Ce condenseur à tubes horizontaux *(fig. 128)* avait la vapeur passant dans les tubes et ceux-ci étaient baignés extérieurement par l'eau réfrigérante; mais ce qu'il avait de particulier, c'était que la pompe à air faisait le vide aussi à l'extérieur des tubes en faisant affluer l'eau d'injection qui arrosait le pourtour de ceux-ci. Les pressions étaient sensiblement les mêmes dans les deux capacités de sorte que les joints des tubes dans les plaques de tête pouvaient être peu serrés, sans qu'il y eût à craindre de fuites, d'où une grande facilité pour le montage et le démontage du faisceau tubulaire.

Ce système reçut sa première application sur le vapeur de la marine des États-Unis *Alleghany*, en 1852. Le condenseur comportait 1 000 tubes de 25 mm de diamètre et 1,22 m de longueur, représentant une surface de 95,8 m²; on réalisait un vide de 0,673 de mercure et l'eau d'alimentation était obtenue à la température de 54 degrés centigrades.

Le condenseur de Pirsson eut beaucoup d'applications aux États-Unis; la plus considérable est celle qui fut faite en 1858 au vapeur transatlantique construit pour la ligne Collins, l'*Adriatic*. Les condenseurs de ce paquebot, au nombre de deux, avaient chacun 1 250 tubes de 22 mm de diamètre extérieur et 1,30 m de longueur, ce qui donnait une longueur cumulée totale de 32 350 m. La surface totale, pour les deux condenseurs, était de 2 232 m², ce qui, pour 3000 ch indiqués en nombre rond, donne une surface de 0,75 m² par cheval. Chaque faisceau tubulaire était contenu dans une caisse de 5 m de longueur, sur 1,90 m de largeur et autant de hauteur.

Une application du condenseur dont nous nous occupons fut faite par la marine française en 1858, sur l'aviso à roues la *Mouette*. Il y avait 540 tubes de 1,50 m de longueur, donnant une surface de 0,26 m² par cheval indiqué.

Deux faits qui se sont produits en France à la même époque à peu près ont grandement contribué à l'avancement de la condensation par surface dans la marine.

L'un de ces faits est qu'au moment de la guerre de Crimée la marine commanda à diverses maisons de construction, Cavé, Gouin, le Creusot, etc., des machines à haute pression pour être mises à bord de batteries flottantes, canonnières, etc., tous bâtiments à faible tirant d'eau; par une erreur accréditée à l'époque et qui n'a peut-être pas encore tout à fait disparu, on espérait avoir des moteurs légers en en sacrifiant le fonctionnement. A l'origine, ces appareils fonctionnaient sans condensation; on fut bientôt amené à leur adjoindre des condenseurs à surface qui servaient plutôt à recueillir la vapeur condensée qu'à donner du vide; leur emploi n'en familiarisa pas moins la marine avec la condensation par surface. C'est à cette époque (1855) que la maison Cavé construisit avec condenseurs à surface les machines de deux bateaux sur lesquels nous reviendrons plus loin.

Le second fait est le succès passager de ce qu'on a appelé les machines à vapeur combinées. On sait que Du Tremblay, après

avoir obtenu, à Lyon, pendant une marche de plusieurs années, de très bons résultats avec une machine fonctionnant par la vapeur d'eau et d'éther, parvint à faire essayer en 1852 ce système sur un bateau du port de Marseille auquel son nom fut donné. Les résultats favorables obtenus firent étendre l'application du système à un certain nombre de bateaux de la Compagnie Arnaud-Touache, savoir, outre le *Du Tremblay*, *la France*, *le Brésil*, *la Ville-de-Lyon*, *l'Amérique*, *le Sahel*, *le Zouave*, *le Kabyle;* il fut aussi employé sur quelques porteurs à hélice de la Seine, construits par Cochot et appartenant à la Compagnie de Touage et Transports de la Seine, dont Du Tremblay était l'Ingénieur, savoir : le *Du Tremblay*, *la Ville-de-Paris*, etc.

On sait que la vapeur d'eau produite dans une chaudière ordinaire agissait dans un premier cylindre et, en sortant, se condensait dans un appareil tubulaire servant à la fois de condenseur pour la vapeur d'eau et de vaporisateur pour l'éther.

La vapeur de ce dernier, après avoir agi dans le second cylindre de la machine, allait se condenser dans un condenseur à surface refroidi à l'extérieur par l'eau de mer. La vapeur d'eau était produite à une pression absolue de 2,5 à 3 atm; elle était condensée à 60 degrés environ, donnait une contre-pression de 0,40 m de mercure ou 0,53 kg par centimètre carré ; la vapeur d'éther avait une pression de 2 atm et on avait un vide au condenseur à surface de 0,20 à 0,22 m de mercure ou 0,28 kg par centimètre carré.

Le vaporisateur de *la France*, que nous prendrons comme exemple, avait 9344 tubes verticaux de 1,20 m de longueur et 51 mm de périmètre donnant une surface totale de 667 m²; les tubes, en cuivre rouge sans soudure, obtenus par étirage, avaient une section aplatie, ils étaient pris dans des plateaux en bronze coulés dessus, et dont les joints d'assemblage étaient faits avec du papier gommé.

Le condenseur à surface de la vapeur d'éther *(fig. 129)* avait des tubes horizontaux semblables à ceux du vaporisateur et de 1,30 m de longueur ; il y en avait 10 355, donnant une surface de 789 m².

Le travail développé par la machine était de 420 ch indiqués sur les pistons, dont les six dixièmes pour la vapeur d'eau et les quatre dixièmes pour la vapeur d'éther ; la surface de condensation ressort à 2,64 m² par cheval pour la première et 4,7 m² pour la seconde. Ces chiffres sont très élevés si on les rapproche de

ceux du condenseur de Hall, qui étaient inférieurs à 1 m² par cheval; il est vrai que les conditions dans lesquelles se fait la condensation ne sont plus les mêmes ici.

Les machines combinées de Du Tremblay donnèrent des résultats économiques satisfaisants; la consommation y descendait à 1,25 kg par cheval indiqué et par heure; mais plusieurs accidents, dont l'incendie de *la France* dans le port de Bahia, incendie qui, comme on le sut plus tard, n'était nullement dû à la présence de l'éther dans la machine, vint jeter sur le système un discrédit dont il ne se releva pas. Plusieurs bateaux en construction débarquèrent les appareils à éther ou on ne les installa pas et on les supprima peu à peu sur les autres. On conserva toutefois dans plusieurs cas les condenseurs à surface en les employant pour la vapeur d'eau.

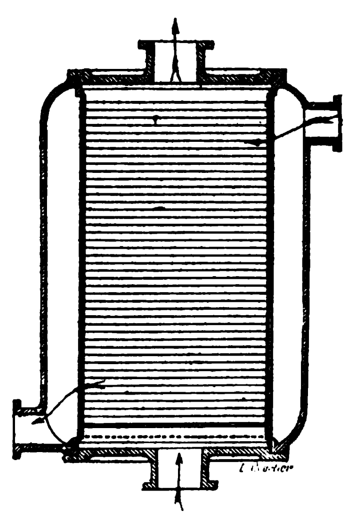


Fig. 129. — Condenseur à surface de Du Tremblay pour machines à vapeur combinées (1854).

Ainsi, de deux grands bateaux construits à Nantes en 1855 avec machines de 700 ch de la maison Cavé, le *François-Arago* et le *Jacquart*, appartenant à la Compagnie Franco-Américaine, le premier ne fonctionna jamais qu'à la vapeur d'eau seule et le second fut ramené à n'employer que celle-ci. On se servit des vaporisateurs et condenseurs comme de condenseurs à surface et on s'en trouva bien; les deux bateaux firent leur service régulier dans ces conditions.

Il semble, d'ailleurs, qu'il y eût déjà à cette époque, en Angleterre, des navires pourvus de condenseurs à surface, car, dans la discussion qui suivit, devant l'*Institution of Civil Engineers*, à Londres, dans la séance du 8 février 1859, une communication sur les machines à vapeur combinée, il est parlé de canonnières de la marine royale munies de condenseurs à surface (établies probablement à l'occasion de la guerre de Crimée, comme on l'a vu plus haut), et un des membres présents cite l'exemple d'un caboteur de 50 ch, l'*Alar*, portant une machine marchant à la pression de 40 livres, 2,8 kg effectifs avec condensation par sur-

face donnant un vide de 0,65 m de mercure à l'allure de 107 tours par minute. L'*Alar*, de novembre 1857 à la fin de 1858, avait effectué un parcours total de 24 000 milles marins sans avoir éprouvé aucune difficulté du côté du condenseur.

C'est à la même époque que Rowan et Horton et d'autres constructeurs commencent à faire des machines marines à haute pression avec condenseurs à surface, machines qui ne réussirent pas d'une manière bien marquée, par suite surtout de questions de détails, mais qui ouvrirent la voie à d'autres et contribuèrent à amener peu à peu l'introduction générale de la condensation par surface avec la machine compound, bien que, pendant quelque temps, on ait cherché à utiliser le condenseur à surface comme une sorte de concurrence à la double expansion dont beaucoup ne comprenaient pas encore tous les avantages.

En 1855, 26 juillet, Ericsson prit un brevet d'importation en

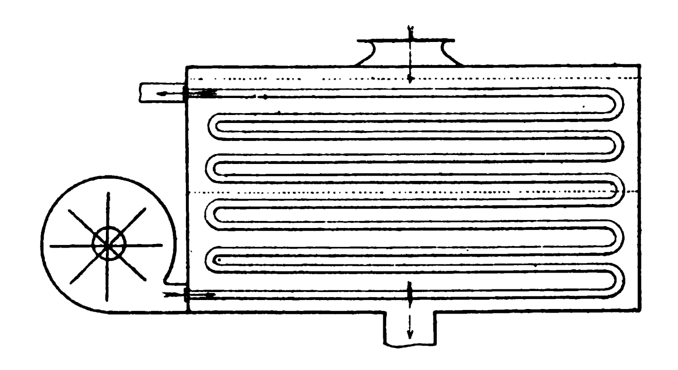


Fig. 130. — Condenseur à surface d'Ericsson (1855).

France pour une disposition de condenseur à surface comprenant des tubes de très grande longueur repliés plusieurs fois sur eux-mêmes, comme les tubes de sa chaudière de 1828. Plusieurs de ces tubes étaient placés parallèlement les uns à côté des autres, l'eau les parcourait refoulée par une pompe centrifuge. Dans le dessin annexé au brevet *(fig. 130)*, il y avait 14 tubes repliés 14 fois, ce qui équivaut à 196 tubes droits. On se rappelle que le condenseur de 1828, du même inventeur, avait des tubes distincts; il est probable que c'est la question de la dilatation qui a engagé Ericsson à revenir aux tubes cintrés; nous ne croyons pas, toutefois, qu'il ait jamais appliqué cette disposition.

On voit que la vapeur arrivant par la partie supérieure était divisée par deux plaques métalliques perforées.

Dans son brevet du 26 juin 1856, portant le titre : Perfectionnements dans le traitement et l'emploi de la vapeur appliquée aux machines motrices et dans les appareils pour en opérer la condensation, Benjamin Normand décrit un condenseur à surface caractérisé par des tubes cintrés en forme de fer à cheval (*fig. 131*) pour éviter les effets de la dilatation, la division du condenseur en deux capacités, dont la première permet d'obtenir de l'eau à 80 degrés pour l'alimentation de la chaudière et des dispositions de détail telles que joints des tubes avec les pla-

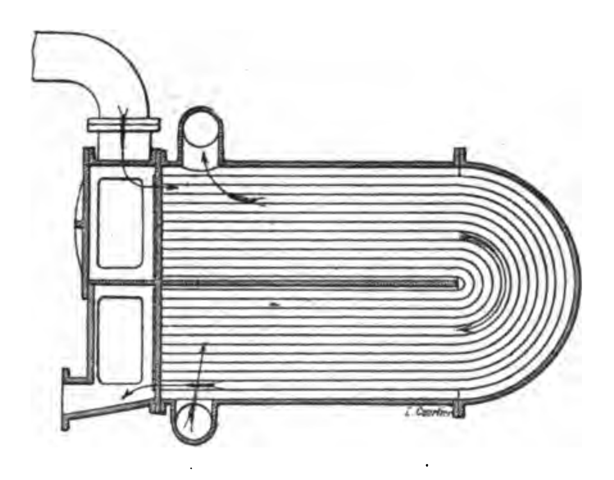


Fig. 131. — Condenseur à surface brevet B. Normand (1856).

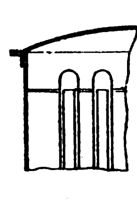
ques, etc. Nous signalerons encore dans ce brevet, à tous points intéressant, l'indication du réchauffage de l'eau d'alimentation par de la vapeur prise entre les deux cylindres d'une machine de Woolf, disposition à laquelle on est revenu avec succès dans ces dernières années.

B. Normand ne paraît pas avoir appliqué alors la condensation par surface, tandis qu'il installa, dès 1861, sur le vapeur *Albert* de la Compagnie des bateaux à hélice du Nord, le système de condensation monhydrique dont nous avons parlé plus haut. L'eau ayant servi à la condensation était refroidie dans un appareil réfrigérant placé sous les corps cylindriques de trois chaudières de locomotives; ce réfrigérant contenait 480 tubes de 2,20 m de longueur dans lesquels l'eau était ramenée de la

température de 40 degrés à celle de 20 degrés par l'effet d'un courant d'eau de mer circulant autour des tubes. Le vide obtenu au condenseur était de 0,66 m de mercure. La puissance développée était de 270 ch indiqués sur les pistons.

Cette installation donna de très bons résultats et l'inventeur la reproduisit sur deux ou trois autres bateaux pour en revenir finalement, au bout de quelques années, au condenseur à surface ordinaire. Toutefois, l'*Albert* conserva jusqu'à la fin de sa carrière, soit pendant dix ou douze ans, le système de condensation dont nous venons de parler.

En 1861, John Loach fit, à la *Society of Engineers*, à Londres, une communication sur les condenseurs à surface; on y trouve des renseignements très intéressants sur les détails de construction de ces appareils, notamment sur les joints des tubes avec les plaques; il est indiqué, dans la discussion qui suivit, dans la séance du 2 décembre, que des condenseurs de ce genre étaient déjà installés sur la frégate *Octavia* de la marine royale, sur les paquebots *Mooltan* et *Ripon* de la Compagnie Péninsulaire et Orientale et sur quelques autres navires. Il y a là un point de repère important pour l'histoire de la condensation par surface.



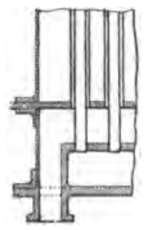


Fig. 132. Condenseur à surface de Perkins (1870).

A l'époque de l'Exposition de Londres, en 1862, le condenseur à surface était déjà assez répandu. La Compagnie Péninsulaire et Orientale en faisait des applications importantes sur ses bateaux munis de machines à double expansion à cylindres superposés, construites par Humphrys et Tennant, et on rencontrait aussi ce condenseur sur des machines à simple expansion.

Dans un brevet du 9 janvier 1863, Amédée Sebillot décrit un condenseur à surface formé de tubes concentriques du genre de ceux de Field. Cette disposition a été appliquée plus tard par Perkins dans des machines marines (*fig. 132*). On évite ainsi les inconvénients de la dilatation des tubes, mais la surface et, par suite, le poids de la matière sont mal utilisés parce que le tube intérieur n'agit pas comme réfrigérant.

A l'Exposition de 1867, à Paris, plusieurs des machines exposées avaient des condenseurs à surface, par exemple, la machine à fourreau de Penn, destinée au navire de guerre anglais *Sapho*,

une machine de Claparède, etc. La marine française n'avait envoyé à cette exposition que des appareils à moyenne pression et condensation par mélange, mais elle ne tarda pas à appliquer la condensation par surface pour la haute pression, en commençant par des machines de puissance relativement faible, telles que celles de la *Résolue*, construites par Claparède, des navires à roues l'*Antilope* et le *Petrel*, du Creusot, du yacht l'*Hirondelle*, des ateliers Mazeline, au Havre, ce dernier pourvu de chaudières Belleville. Depuis cette époque, 1870 à 1875, le condenseur à surface est devenu, en France comme ailleurs, partie intégrante des machines marines qui ne sauraient plus exister sans lui.

Le condenseur à surface actuel est toujours fondé sur le principe de celui de Hall; on y a toutefois introduit une modification importante. On fait passer l'eau dans les tubes et la vapeur autour; le faisceau tubulaire est divisé en plusieurs parties que l'eau parcourt successivement, de manière à produire une circulation méthodique en sens inverse de celle du courant de vapeur. La surface de refroidissement se trouve ainsi mieux utilisée. Avec les machines économiques de nos jours, une surface de 0,30 m² suffit pour une puissance de 1 ch indiqué.

En poussant plus loin l'étude du fonctionnement du condenseur à surface, on a, dans ces derniers temps, obtenu des résultats encore plus avantageux en utilisant mieux l'eau de refroidissement et les surfaces réfrigérantes. Ainsi, on fait passer successivement cette eau plusieurs fois à travers les tubes disposés en quatre ou cinq groupes, ce qui donne une longueur équivalente de tubes bien plus considérable et, d'autre part, on dispose le condenseur de manière que la vapeur liquéfiée s'évacue par portions des différentes parties du condenseur, au lieu de se réunir en une seule masse au fond de celui-ci. Cet effet s'obtient en divisant le corps du condenseur en plusieurs compartiments par des diaphragmes inclinés sur l'horizontale qui dirigent l'eau à mesure qu'elle se forme vers les parois latérales en évitant qu'elle tombe verticalement des tubes supérieurs sur les tubes inférieurs.

On arrive par ces dispositions à condenser jusqu'à 150 kg de vapeur par mètre carré et par heure, de sorte qu'avec des machines économiques, il suffirait de 0,05 m² pour 1 ch indiqué. Nous ne savons si ce système, qui a fait l'objet d'expériences récentes du professeur R. L. Weigthon à l'Armstrong College, à Newcastle-sur-Tyne, est passé dans la pratique.

Depuis quelques années, on rencontre fréquemment l'usage du condenseur à surface dans les machines fixes, notamment dans les installations de condensation centrale; son emploi n'est donc plus exclusivement réservé aux machines marines.

De même, la condensation monhydrique, dont nous avons parlé plus haut, très exceptionnellement employée pendant longtemps et presque exclusivement à la mer, a vu son usage se répandre considérablement depuis une vingtaine d'années pour les machines fixes. Avec des appareils de refroidissement d'eau de divers systèmes, mais dont le principe consiste toujours à exposer l'eau chaude sous forme très divisée à l'action d'un courant d'air, on a réussi à étendue l'emploi des machines à condensation à des cas où l'eau est peu abondante. Les installations de refroidissement d'eau se rencontrent avec des puissances considérables dans beaucoup de localités où l'eau est rare et chère, surtout dans les grandes villes.

Disons, pour terminer ce chapitre, que Samuel Hall mourut à Londres, en 1865, à l'âge de quatre-vingt-trois ans, dans la plus profonde misère, précisément à l'époque où le condenseur à surface commençait à être appliqué d'une manière courante en Angleterre sous la forme même, ou à bien peu près, dans laquelle il l'avait appliqué trente ans avant. Nous croyons superflu d'ajouter le moindre commentaire à cette mélancolique constatation.

TROISIÈME PARTIE

SURCHAUFFE DE LA VAPEUR

CHAPITRE IX.

Emploi de la vapeur surchauffée dans les machines fixes et marines.

L'idée d'employer la vapeur surchauffée est très ancienne ; elle remonte presque à l'époque où les moteurs à vapeur sont réellement devenus industriels. Tout en admettant l'exactitude de ce fait, beaucoup de personnes, même dans les milieux les plus autorisés, croient que l'introduction de ce procédé dans la pratique est relativement récente et doit être attribuée au savant G. A. Hirn (1856). Ainsi nous lisons dans une remarquable série d'articles sur la surchauffe dus à la plume d'un professeur distingué, M. Sinigaglia, de l'École supérieure polytechnique de Naples, et parus dans la *Revue de Mécanique*, deuxième semestre de 1905, la phrase suivante : « C'est alors que Hirn, dans sa clairvoyance, pensa au bénéfice qu'il y aurait à fournir de la chaleur non plus à l'extérieur, mais directement à l'intérieur du cylindre, et l'invention de la surchauffe appliquée aux machines à vapeur était réalisée ». Ce qui précède est l'expression d'une opinion très répandue à l'heure actuelle. L'exposé impartial que nous allons faire permettra au lecteur de juger si cette manière de voir est justifiée ou si, au contraire, elle est simplement basée sur une connaissance imparfaite de l'histoire de la surchauffe (1).

Le fait que la vapeur, soustraite au contact de l'eau qui lui a donné naissance, se comporte à la manière d'un gaz en se dilatant et se contractant suivant que la température augmente ou diminue, dans certaines limites, paraît être connu depuis long-

(1) Nous nous empressons de reconnaître que, dans un précédent article paru dans la *Revue de Mécanique*, année 1897, M. Sinigaglia admet que Hirn a eu des précurseurs; dans une sorte d'historique qui tient exactement quatorze lignes, il cite une demi-douzaine de noms, mais n'entre dans aucun détail.

temps. Bien qu'on rapporte que Papin aurait en 1705 essayé d'introduire une masse de fer chauffée au rouge dans le piston pour dilater la vapeur dans le cylindre, certains auteurs contemporains anglais attribuent à James Watt lui-même la première idée de l'emploi de ces propriétés dans les machines à vapeur. Nous ignorons absolument sur quoi ils se basent pour cette revendication; le seul fait qui se rapporte, bien que d'une manière assez vague, à l'emploi de la vapeur surchauffée serait peut-être l'indication donnée par le grand mécanicien dans sa patente de 1769, au paragraphe 6: « Je me propose, dans certains cas, d'employer un degré de froid insuffisant pour condenser la vapeur, mais capable de réduire son volume de manière qu'une machine puisse être mue alternativement par la dilatation et la contraction de la vapeur. » Comme on ne peut contracter par le refroidissement que de la vapeur surchauffée, il faudrait admettre que Watt, dans ce *claim*, a eu en vue de la vapeur à cet état. Nous pensons que le patenté n'a introduit ici cette revendication assez obscure que pour barrer au besoin le chemin à d'autres, hypothèse qui n'a rien d'excessif, étant donnée la manière dont étaient généralement conçues les spécifications de Watt ; ses contemporains en avaient déjà fait la remarque ; on pourrait croire que cet éminent mécanicien était doublé d'un homme d'affaires de premier ordre si ce que nous connaissons du caractère de Watt ne portait à attribuer plutôt la responsabilité de la rédaction des spécifications à Boulton dont l'association avec Watt date précisément de 1769.

Nous estimons, au moins jusqu'à plus ample informé (1), que la première idée de l'emploi de la vapeur surchauffée dans la machine à vapeur doit être attribuée, sans contestation possible, car il l'a formulée de la façon la plus nette, à Philippe Lebon, Ingénieur des Ponts et Chaussées, auquel on fait généralement l'honneur de l'invention de l'éclairage par le gaz.

Le tome Ier de la *Description des machines et procédés spécifiés dans les brevets*, etc., Paris, 1811, à la suite de la description d'un brevet en date du 11 septembre 1796, pour distiller au moyen du vide et du froid, délivré au citoyen Philippe Lebon, Ingénieur de Paris, contient, à la page 368, des notes indiquant que M. Lebon remporta le premier prix à l'École des Ponts et Chaussées sur cette question : *Trouver la disposition la plus favorable à donner à une machine à feu.*

(1) Voir la note F à la fin de l'ouvrage.

Après l'indication des combinaisons proposées par l'inventeur, la note ajoute : « M. Lebon propose de construire la chaudière de manière que le feu soit au centre, les charbons embrasés sur les parois et que la flamme et la fumée circulent autour. Il propose en outre de faire passer l'eau vaporisée à travers un tube incandescent afin de donner à la vapeur une beaucoup plus grande expansion ». C'est bien là une indication absolument nette de la surchauffe de la vapeur et du but en vue duquel cette surchauffe est opérée, but qui est de donner un plus grand volume à la vapeur.

Cette note qui porte l'initiale M est évidemment de la plume de Mollard, administrateur du Conservatoire des Arts et Métiers, chargé de la publication des brevets d'invention. Elle ajoute : « Pour mettre M. Lebon à portée de faire des expériences sur la force expansive de tous les fluides à l'effet de connaître celui qui pourrait acquérir un degré d'intensité plus considérable avec la même quantité de combustible et se condenser plus promptement, le Bureau de consultation des Arts et Métiers, sur le rapport des citoyens *Borda*, *Perier*, *Hassenfratz*, *Detrouville* et *Dumas*, fut d'avis, le 12 avril de l'an IV, d'accorder à l'auteur la somme de 2 000 f pour être employée à la construction d'un appareil disposé avec des baromètres et des thermomètres propres à donner des résultats comparés d'après lesquels on puisse un jour effectuer des machines à vapeur beaucoup plus économiques que celles connues. »

Tarbé de Saint-Hardouin, dans ses *Notices biographiques sur les Ingénieurs des Ponts et Chaussées*, Paris, 1884, dit : « Pendant son séjour à l'École des Ponts et Chaussées, Lebon avait remporté le premier prix de mécanique sur cette question : *Trouver la disposition la plus favorable à donner à une machine à feu*, et son travail, transmis quelques années après au Comité des Arts et Métiers, lui valut, le 12 avril 1796, une récompense de 2 000 f ». On trouve un peu plus haut que Lebon entra à l'École en 1787 et en sortit en 1792, après avoir pendant plusieurs années professé la mécanique à ses camarades d'école ; on peut donc placer la date du mémoire contenant l'indication de l'emploi de la surchauffe entre 1788 et 1791. Ce mémoire n'a malheureusement pu être retrouvé, mais la mention faite par Mollard en 1811 est bien suffisante pour établir les titres de Lebon en ce qui concerne la surchauffe.

Il n'est pas inutile d'ajouter que Tarbé de Saint-Hardouin émet les doutes les plus sérieux sur la supposition que Lebon aurait

péri assassiné par des mains inconnues et cite des faits qui tendraient à le faire mourir très prosaïquement de maladie. Gaudry père (1), qui fut bâtonnier de l'ordre des avocats, à Paris, neveu de Philippe Lebon, dans une notice sur les travaux de celui-ci parue en 1856, mentionne les bruits qui circulèrent au sujet de la cause de la mort de Lebon, mais sans les admettre comme reposant sur une base sérieuse. La date de cette mort, 2 décembre 1804, explique dans une certaine mesure que l'imagination populaire surexcitée à cette époque contre les Anglais ait pu voir dans ce fait la main de l'étranger jaloux de l'invention par Lebon de l'éclairage au gaz.

Dans un article paru dans l'*Iron Age*, du 7 avril 1904, sur la surchauffe, se trouve le passage suivant : « On dit qu'on doit attribuer à Sir William Congrève, en 1821, la plus ancienne idée de surchauffer la vapeur après sa formation dans la chaudière ; son but était d'en accroître le volume ; il est probable que l'importance d'accroître la température ne fut pas comprise à l'époque. » Nous ignorons absolument à quelle occasion l'inventeur des fusées de guerre aurait émis cette idée (2). On cite deux patentes de Congrève relatives à la vapeur et datant de 1818 et de 1822, l'une parle d'une machine rotative, l'autre de la combinaison de la production de la vapeur avec la fabrication de la chaux. S'agit-il de cette dernière? En tout cas, l'inventeur anglais aurait été devancé d'une vingtaine d'années par Lebon.

Il est infiniment probable que la vapeur a été d'abord produite à l'état de surchauffe, c'est-à-dire avec une température supérieure à celle qui correspond à sa pression, dans les chaudières à vaporisation instantanée. On peut, en effet, concevoir la production de la vapeur surchauffée sous deux formes : 1° dans un vase unique. Supposons, en effet, un tube de petit diamètre et très long, chauffé dans un foyer, si on introduit de l'eau par la partie inférieure de ce tube, cette eau se chauffera dans la première portion, puis se vaporisera dans une seconde et enfin, parcourant à l'état de vapeur le reste du tube chauffé fortement, elle y acquerra une température élevée, en un mot se surchauffera ; 2° d'autre part, si on fait passer de la vapeur sortant à l'état de saturation d'une chaudière dans un faisceau tubulaire fortement chauffé, on surchauffera également cette vapeur. Tout porte à croire que c'est de la première manière que la vapeur surchauffée

(1) Père de notre vénéré collègue et ami Jules Gaudry.
(2) Voir la note F.

a été obtenue tout d'abord, pratiquement, bien que Lebon vise très nettement le second procédé. Il en résulterait qu'on a d'abord obtenu la vapeur surchauffée sans le vouloir, peut-être même sans le savoir.

En 1824, Jacob Perkins proposa, comme nous l'avons dit, un générateur formé de barreaux en fonte à section carrée avec un trou circulaire de 37 mm de diamètre pratiqué dans la longueur.

Nous avons indiqué que la vapeur formée par l'eau chauffée dans les premiers barreaux de l'appareil se surchauffait dans les derniers où elle acquérait une température très élevée et un volume considérable. Perkins paraît avoir exécuté plusieurs de ces générateurs avec lesquels il a fait fonctionner divers moteurs à vapeur de dispositions très ingénieuses, dont plusieurs à double expansion, arrangement qui s'imposait en présence de pressions si élevées.

Il y a là un exemple de ce qu'on pourrait appeler une méthode mixte, c'est-à-dire vaporisation instantanée et surchauffage subséquent.

Nous avons vu, à l'occasion des chaudières tubulaires, qu'au commencement de 1826, James Neville indiquait dans sa chaudière à tubes l'emploi d'un surchauffeur distinct. C'est le premier exemple que nous connaissions de cette addition sous forme indépendante à un générateur, mais rien n'indique, du moins dans la description qu'en donne Colburn, que l'inventeur émit des prétentions sur la nouveauté de cette disposition accessoire.

On trouve, à la date du 30 novembre 1827, un brevet français auquel on a voulu attribuer une importance considérable dans l'histoire de la surchauffe ; voici dans quelles circonstances.

Un mécanicien distingué, notre regretté collègue Nicolas Raffard, mort en 1898, ingénieur autrefois chez Kientzy, constructeur à Paris, avait entendu dire par celui-ci que la surchauffe avait été employée en Alsace il y avait déjà longtemps et qu'on avait dû y renoncer à cause de difficultés pratiques.

Se rappelant ce dire et ayant eu son attention appelée depuis sur la question de la surchauffe, Raffard trouva, dans ses recherches au Conservatoire des Arts et Métiers, un brevet pris en 1827 par Becker, mécanicien à Strasbourg, pour une machine à haute pression, dans laquelle la vapeur, avant de produire son effet, était soumise à une température très élevée. Dans ce brevet qui, dit Raffard, est probablement le premier brevet français relatif à cette question, sont mentionnées, la température de

210 degrés centigrades et la production instantanée de la vapeur à très haute température par l'injection, dans des tubes de faible diamètre, de petites quantités d'eau en rapport avec la charge de la machine.

Voici ce que dit Raffard dans le *Bulletin Technologique*, 1892, vol. II, page 1171 : « Vers la fin de 1848, alors que tous les mécaniciens avaient encore présents à l'esprit les mémorables travaux de Combes sur les enveloppes de vapeur, le bruit, venant je ne sais d'où, se répandit que, par l'emploi de la vapeur surchauffée, on pouvait supprimer l'enveloppe de vapeur et réaliser une très grande économie de combustible. Comme mon ancien patron, Kientzy, construisait encore à cette époque des machines oscillantes, auxquelles on reprochait de n'avoir pas d'enveloppes de vapeur au cylindre, je lui proposai d'essayer la vapeur surchauffée sur ces machines; mais Kientzy me répondit que « l'économie réalisée par l'emploi de la surchauffe, bien que très réelle au début, disparaîtrait bientôt par suite des fuites du serpentin surchauffeur et que le grippement des organes de la distribution et celui du piston dans le cylindre, ainsi que la destruction des garnitures des presse-étoupes rendraient bientôt impossible tout fonctionnement de la machine », et il ajouta : « Il y a d'ailleurs longtemps que ce système a été essayé en Alsace et on a été obligé d'y renoncer à cause des fuites et des excès de température impossibles à éviter. »

L'importance qu'on a donnée depuis au brevet de Becker nous engage à nous y arrêter.

Ce brevet, à la date du 30 novembre 1827, délivré au sieur Becker (Henri-Guillaume) de Strasbourg, et dont nous avons dit un mot à propos des générateurs à vaporisation instantanée, vise une machine à vapeur perfectionnée. Le mode de génération est la production instantanée de la vapeur, par injection, au moyen d'une pompe, d'eau dans un réservoir d'air d'où elle sort en filet continu, traverse un tube *préparateur*, où elle s'échauffe à un degré élevé et entre dans des tubes *générateurs*, où elle est réduite en vapeur à l'instant même; puis, aussitôt formée, elle va remplir un *collecteur* chauffé extérieurement où elle reçoit une augmentation de température et de force. C'est ce dernier point, indiqué comme 3° dans l'invention en ces termes :

3° « A recevoir la vapeur dans un récepteur entouré de feu afin d'augmenter encore sa température et sa force élastique », qui constitue les titres de Becker dans la question de la sur-



chauffe. Il est intéressant d'indiquer que les générateurs avaient, d'après le dessin du brevet *(fig. 133)*, environ 80 mm de diamètre sur 0,80 m de longueur et le collecteur 0,15 m sur la même longueur; les premiers sont indiqués composés de trois épaisseurs de métaux différents : en dehors de la fonte, puis du fer et à l'intérieur une enveloppe en cuivre.

Nous croyons que, pour apprécier justement le rôle de Becker dans la question de la surchauffe, il faut l'examiner à deux points de vue : celui du brevet et celui de l'application.

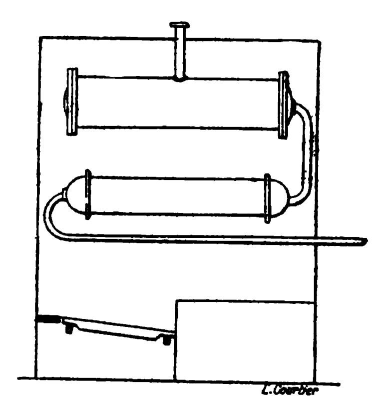


Fig. 133. — Générateurs à vapeur surchauffée de Becker (1829).

Le brevet nous paraît avoir peu d'importance; bien que le mot de vapeur surchauffée n'y soit pas prononcé, il indique bien le passage de la vapeur dans un réservoir chauffé où la vapeur augmente de température et de force élastique (l'inventeur aurait dû dire et de volume), mais il est primé par l'antériorité de Lebon qui, même si, en l'absence du mémoire de ce dernier, on ne prenait pas la date de 1791, daterait tout au moins de la mention faite par Molard en 1811.

Il n'y a rien dans le brevet de Becker de plus que dans celui de Perkins dont nous avons parlé tout à l'heure; il est vrai que le brevet de l'inventeur strasbourgeois est du 30 novembre 1827, alors que le brevet français de Perkins est daté du 7 décembre de la même année, ce qui donne au premier une antériorité apparente de *sept jours*; mais il ne faut pas perdre de vue que le second est un brevet d'importation d'une invention anglaise plus vieille de deux ans. Nous ne saurions donc attacher une bien grande valeur au brevet de Becker.

Quant aux applications faites par cet inventeur, si elles étaient établies par des faits bien précis, on pourrait leur attribuer un rôle sérieux dans la réalisation et la mise en pratique de la surchauffe, mais les dires de Kientzy, tels qu'ils sont rapportés par Raffard, nous paraissent trop vagues, pour qu'on puisse baser un jugement sur eux. Néanmoins, le nom de Becker ne saurait être omis dans une étude historique sur la surchauffe.

On trouve à la même époque, 1828-1829, divers renseignements de nature analogue. Ainsi, des auteurs anglais indiquent que John Ericsson aurait, en 1828, fait usage de la surchauffe sur un bateau à vapeur naviguant sur le canal du Regent, à Londres; d'autre part, le professeur Storm Bull, dans un mémoire sur la surchauffe paru dans le numéro de décembre 1903 du *Journal of the Western Societies of Engineers*, dit que Ericsson fit, en 1834, des expériences sur la vapeur surchauffée, mais qu'on ne possède aucun renseignement à ce sujet; ces deux dates ne viseraient-elles pas le même essai qui aurait pu être prolongé par suite de difficultés?

Voici cependant un document sur la question : dans la séance de l'*Institution of Civil Engineers* du 27 mai 1860, au cours de la discussion sur la communication de Wethered, dont nous parlerons plus loin, sur la vapeur mélangée, E. A. Cowper dit qu'en 1834 ou 1835, alors qu'il faisait son apprentissage dans la maison Braithwaite, à Londres, il avait assisté à des expériences faites sur une machine à vapeur de 24 ch, munie par Ericsson d'un appareil qui surchauffait la vapeur à des températures bien plus élevées que celles qu'on emploie actuellement (1860). Les résultats obtenus étaient très favorables, mais le système ne se répandit pas à cause de certaines difficultés de détail de l'ordre pratique.

Nous ne possédons, d'ailleurs, aucune indication sur l'appareil de surchauffe employé par l'Ingénieur suédois.

C'est à cette époque (1828) que remonte l'introduction par James Allaire de la *Steam Chimney* qui reçut aux États-Unis de très nombreuses applications sur les bateaux. La cheminée était à sa base entourée d'une enveloppe formant un espace circulaire divisé par des cloisons verticales; la vapeur y circulait avant d'aller à la machine.

L'attention de Trevithick avait été portée sur la surchauffe par des essais de chauffage direct des cylindres de machines faits de 1827 à 1828 en Cornouailles; on trouve dans une lettre (*Life of Trevithick*, vol. II, page 316) adressée par lui à Davies Gilbert, et datée d'Hayle Foundry, 14 décembre 1828, le passage suivant : « Je vais avoir une petite machine transportable achevée ces jours-ci et tenterai de chauffer la vapeur hors de la présence de l'eau dans de petits tubes en fer, dans son passage de la chaudière au cylindre. » On ne trouve nulle part indiqué le résultat obtenu, mais il semble qu'il ne fut pas décourageant,

puisque ces expériences paraissent s'être traduites par la prise, en 1832, d'une patente pour une chaudière à tubes d'eau avec « interposition entre la chaudière et les cylindres, en position pour être fortement chauffé, d'un long conduit formé d'une série de tubes cintrés, que l'inventeur appelle *dry pipes*, tubes secs, ou appareil à dilater la vapeur, dans lequel celle-ci circule après sa génération dans la chaudière pour absorber une quantité supplémentaire de chaleur qui lui donne un plus grand volume pour travailler dans le cylindre ».

Le brevet français d'importation, dont la description et le dessin sont identiques à ceux de la patente de Trevithick, fut pris au nom d'Edward Hall, de Dartford, à la date du 17 mai 1833, quelques jours après la mort de Trevithick, décédé le 22 avril 1833 à Dartford même, où il surveillait chez MM. Hall la construction de ses machines. On voit qu'il s'agit bien ici de surchauffer la vapeur saturée produite dans une chaudière ordinaire et non de surchauffe par production de vapeur instantanée.

Il est certain que vers 1830 l'usage et les propriétés de la vapeur surchauffée, nous dirons même ses inconvénients, étaient connus, car, cette même année 1830, W. T. Haycraft, qui s'occupait depuis plusieurs années de ce qu'on appellait en Angleterre la vapeur *surchargée*, prit une patente pour une disposition de machine destinée à parer à ces inconvénients; il avait, dit-il, constaté que la vapeur surchargée, c'est-à-dire dont la température est supérieure à celle qui correspond à sa force élastique, a l'inconvénient de donner lieu à des fuites et de brûler les presse-étoupes. L'expérience de l'auteur le lui a fait remarquer et, en présence des avantages que présente cette vapeur, il a imaginé de disposer la machine de manière que la vapeur ne soit pas en contact avec les presse-étoupes. La machine a une tige de piston de fort diamètre, laissant un espace annulaire égal en surface à la moitié, par exemple, de la surface du piston; la vapeur agit au-dessus du piston et l'espace annulaire est plein d'eau chaude en communication avec la chaudière. Cet arrangement ne paraît pas très pratique : il donnerait lieu, en effet, à des résistances considérables de la part de l'eau en mouvement alternatif dans des conduits de diamètre forcément restreint. Nous aurons plus loin occasion de reparler de cet appareil à un autre point de vue.

Nous avons mentionné ailleurs la chaudière à vaporisation instantanée de Thomas Howard; cette chaudière produisait de la

vapeur surchauffée à l'emploi de laquelle on peut attribuer dans une certaine mesure l'économie très sensible réalisée.

En février 1837, Jacob Perkins, dont il a déjà été question à propos des chaudières, fit à l'*Institution of Civil Engineers*, à Londres, une communication sur la manière de produire la vapeur dans les locomotives. Les *proceedings* de l'Institution ne donnent qu'un très court résumé, vingt-cinq lignes, de cette communication. L'auteur prône l'emploi de la vapeur surchauffée qui, dit-il, présente, entre autres avantages, celui de pouvoir céder du calorique sans éprouver de condensation, au contraire de la vapeur saturée pour laquelle la plus légère chute de température correspond à une condensation équivalente. Cette constatation est intéressante parce qu'elle indique que Perkins voyait dans l'emploi de la vapeur surchauffée d'autres avantages que la simple augmentation de volume recherchée jusque-là par les inventeurs.

On trouve, à la date du 30 décembre 1839, un brevet d'invention au nom des sieurs Farcot et Legris, à Paris, pour des moyens d'employer les fluides ou gaz comme force motrice. Nous ne citons ce brevet qu'à titre de curiosité, parce qu'un des titulaires nous paraît devoir être le Legris qui, de 1824 à 1828, publia des ouvrages dont nous avons dit un mot et dans un desquels se trouve la description d'une chaudière tubulaire très analogue aux chaudières de locomotives. Cette supposition que le breveté de 1839 et l'auteur de 1827 ne sont qu'une seule et même personne se base sur la similitude du style. On jugera de ce style par l'échantillon suivant qui forme le sous-titre de l'invention : « Description d'une machine à air brûlé, comprimé, moteur et à vapeur prenant trois ou quatre fois plus de volume ou de force qu'elle n'en a dans la chaudière, brûlant de la vapeur pour économiser le combustible, faisant le gaz moteur ou d'éclairage, considérablement augmenté avec du gaz de vapeur décomposée, carbonisé, tout en donnant du charbon et du coke pour divers besoins, ainsi qu'une force illimitée, après quoi toute la chaleur produite va chauffer, sécher, etc., toutes sortes d'objets dans les établissements ».

Dans un certificat d'addition en date du 24 mars 1840, l'emploi de la surchauffe est plusieurs fois indiqué; par exemple : « La vapeur à très haute pression est formée dans des tuyaux serpentant autour du foyer et surchauffée, à la température du foyer, dans un autre serpentin qui rend son volume plusieurs

fois plus grand. La vapeur agit sur une roue à réaction, sur une roue à palette, ou même sur des pistons. » Nous ne mentionnons ces détails que pour faire voir que la surchauffe était l'objet des préoccupations continuelles des inventeurs et que les propositions y relatives se reproduisaient constamment. On pourrait cependant à la rigueur voir dans un passage de cette citation une allusion assez claire à l'emploi de la vapeur surchauffée dans les turbines, lequel est très en vogue actuellement.

Voici, en revanche, quelque chose de plus intéressant au point de vue pratique.

Un sieur John Hawthorn, de Londres, probablement un représentant, et même un parent des constructeurs bien connus de Newcastle, prit un brevet d'importation en France, à la date du 14 septembre 1840, pour des perfectionnements dans les chaudières de locomotives. Ces perfectionnements consistent notamment dans les moyens de surchauffer ou plutôt, comme dit le brevet, de *chauffer* la vapeur dans son passage de la chaudière au cylindre. Nous citons ici ce brevet à cause de la date pour ne pas interrompre l'ordre chronologique, mais nous l'étudierons en parlant de la surchauffe appliquée aux locomotives. Nous dirons toutefois, dès à présent, que ce brevet décrit aussi la prise de vapeur par un tuyau longitudinal percé de trous en nombre croissant d'une extrémité à l'autre pour éviter l'entraînement brusque de l'eau avec la vapeur, disposition qu'on attribue généralement à Crampton.

On sait que c'est en 1840 que Thomas et Laurens proposèrent d'opérer la carbonisation du bois par la vapeur surchauffée. Bien que ce fait ne concerne pas la force motrice, nous croyons devoir l'indiquer à sa place chronologique pour faire voir combien on s'occupait déjà de la surchauffe et de ses applications.

Il convient de citer également ici comme remontant à peu près à cette époque, 1842, un ouvrage contenant des aperçus fort remarquables pour l'époque et intitulé *Manuel du Constructeur de locomotives*, par notre ancien collègue C.-E. Jullien. Cet ouvrage, faisant partie de l'*Encyclopédie Roret*, a pour sous-titre : « Essai sur un point de départ à adopter dans les perfectionnements dont ces machines sont susceptibles »; il décrit notamment trois améliorations que propose l'auteur et dont la seconde est le chauffage de la vapeur sur la caisse du foyer; c'est un véritable surchauffage, bien que le nom ne soit pas prononcé. Le procédé consistait à former le ciel du foyer d'une plaque de fonte épaisse et de

forcer la vapeur par un cloisonnement à y circuler sur une faible épaisseur. L'auteur se proposait simplement, semble-t-il, de sécher la vapeur qui devait, selon les idées en cours à l'époque, contenir au moins 30 0/0 d'eau. La proportion étant, en réalité, beaucoup moindre, on aurait obtenu en pratique une véritable surchauffe. Ce n'est pas que la disposition proposée fût bien pratique, surtout au point de vue de la sécurité, mais on n'avait affaire à l'époque qu'à des pressions de 4 kg au plus.

Nous croyons devoir placer ici quelques renseignements, dus à notre éminent collègue, M. Dwelshauvers-Dery, professeur émérite de l'Université de Liége, et relatifs aux travaux sur la surchauffe d'un mécanicien belge, Ferdinand Spineux, qui est connu par d'importants services rendus par lui à diverses industries, telles que la filature. Spineux travailla sérieusement la question de la surchauffe et présenta un mémoire sur ce sujet à un concours ouvert, en 1836, par le Gouvernement belge sur les moyens à employer pour réduire la consommation de combustible des machines à vapeur. Plus tard, en 1847, Spineux appliqua la surchauffe à un moteur fourni par lui à un distillateur d'Anvers du nom de Van Zuylen, moteur qui réalisait, paraît-il, une très importante économie de combustible.

« Dénué de tout esprit pratique, dit M. Dwelshauvers-Dery, Spineux attendit longtemps après la présentation de son mémoire pour formuler une demande de brevet et, comme la loi belge de 1817 faisait dépendre la concession du bon plaisir de l'Administration, il n'avait pas encore été donné suite à la demande de Spineux lorsqu'il fut délivré, sous l'empire de la nouvelle loi de 1854, un brevet pour le même objet à M. E. Bède, alors professeur à l'Université de Liége ». Spineux n'en a pas moins droit à une place honorable dans l'histoire de l'application de la surchauffe aux machines à vapeur, en vue d'économiser le combustible et nous sommes heureux de saisir cette occasion de lui rendre justice.

Dans les *Quarterly Papers on Engineering*, publiés par John Weale, vol. III, 1844, se trouve un article intitulé : ***Hints on some improvements of the Steam Engine***, par Joseph Gill, article daté de Marsala, en Sicile, 1er septembre 1843, et dans lequel l'auteur émet des considérations très remarquables sur l'action de la vapeur dans les cylindres et les pertes de vapeur par condensation amenées, selon lui, en grande partie par la présence de l'eau dans le cylindre, eau qui condense la vapeur lors de l'ad-

mission et se revaporise en partie pendant l'échappement, effet qui se prolonge indéfiniment. Gill explique que cet effet des plus nuisibles pourrait être supprimé par l'emploi de la surchauffe de la vapeur au moyen des gaz de la combustion, par exemple au moyen d'un système de petits tubes où la vapeur passerait à sa sortie de la chaudière ; on supprimerait ainsi d'abord l'entraînement de l'eau dans les cylindres, qui produit beaucoup d'inconvénients, et la chaleur supplémentaire possédée par la vapeur surchauffée préviendrait la condensation dans les tuyaux et cylindres; de plus, la vapeur pourrait subir une détente considérable sans éprouver de condensation.

Il y a là une tentative d'explication de l'action de la vapeur surchauffée qui mérite d'être signalée, parce qu'elle repose sur l'effet de la quantité de chaleur supplémentaire que possède la vapeur surchauffée.

Dans la séance du 22 novembre 1848 de la *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, il a été donné lecture d'une communication de M. Sorel qui annonce avoir inventé un appareil pour sécher la vapeur, lequel fonctionne depuis plusieurs années à Paris.

Au lieu de séparer mécaniquement l'eau entraînée de la vapeur ou de surchauffer la vapeur au risque de brûler les huiles de graissage et les presse-étoupes, M. Sorel dessèche la vapeur sans la surchauffer ; il y parvient en mélangeant avec la vapeur ordinaire une quantité convenable de vapeur surchauffée. L'appareil destiné à cet usage se compose d'un vase ou cylindre en fonte, nommé *boîte de mélange*, placé près de la boîte de distribution du cylindre. C'est dans cette boîte que la vapeur se dessèche en se mélangeant avec la vapeur surchauffée qui y arrive en proportion convenable. C'est par la température du mélange de vapeur relativement à sa pression que l'on reconnaît que la vapeur ne contient plus d'eau en excès; pour connaître cette température, on adapte un thermomètre sur la boîte de mélange. Pour surchauffer la vapeur, on la fait passer dans un tuyau contourné en serpentin que l'on place dans une fosse ou carneau pratiqué à la suite de la chaudière et, pour régler la proportion des deux vapeurs qui arrivent dans la boîte de mélange, on dispose un robinet sur chaque tuyau.

L'appareil que M. Sorel a fait exécuter, d'après ces principes, est adapté sur une machine peu propre à cet objet; cependant, il procure une économie de près de 17 0/0 sur la consommation

de combustible et il n'est pas douteux que, sur les machines des bateaux et sur les locomotives, on ne parvienne à réaliser une économie de plus de 30 0/0.

Nous devons dire ici que, dans son brevet du 9 septembre 1844, Sorel indique que : « La vapeur mélangée ne doit avoir que juste la température de la vapeur de la chaudière ou seulement quelques degrés de plus; si la vapeur surchauffée possédait beaucoup plus de calories qu'il n'en faut pour vaporiser toute l'eau entraînée avec la vapeur saturée, on ferait passer la vapeur surchauffée à travers de l'eau entretenue dans un vase spécial ou bien dans la boite ou gros tuyau dans lequel se réunissent les deux vapeurs. »

La Publication Industrielle, d'Armengaud, vol. VI, page 430, donne quelques détails sur le système Sorel et indique que le surchauffeur consiste en un serpentin ou grille tubulaire renfermé dans une capacité du fourneau à l'extrémité du carneau qui se rend à la cheminée pour recevoir la chaleur de la fumée et de l'air chaud qui se projettent dans celle-ci. M. Sorel prévoit dans son brevet l'emploi d'un thermomètre métallique formant régulateur pour ouvrir ou fermer les robinets par lesquels la vapeur arrive, de manière à maintenir constamment la proportion et la température convenables.

Le Génie Industriel, vol. II, 1855, page 313, indique que l'application citée précédemment a été faite sur la machine à vapeur de M. Cordier, fabricant de perles à Belleville, et que l'appareil donne de très bons résultats.

Nous avons parlé ici du système Sorel, bien que son auteur se défendît de vouloir réaliser la surchauffe de la vapeur, d'abord parce qu'il comporte des installations de surchauffe et aussi parce qu'il a été reproduit plus tard en Amérique, mais cette fois dans le but très net de produire la surchauffe de la vapeur.

En 1846, le 31 octobre, l'anglais Haycraft, dont il a déjà été question, prit un brevet français pour des perfectionnements apportés à la génération de la vapeur, perfectionnements consistant à sécher et surchauffer celle-ci. Ce brevet ne présente rien de particulier; nous ne le citons que parce que l'auteur était un des pionniers de la question de la surchauffe, ses premiers travaux sur le sujet remontant à plus de vingt ans.

Le 3 juillet 1849, de Quillacq, constructeur à Anzin, qui fut membre de notre Société, breveta en France « un emploi de la vapeur non saturée, mais surchauffée ». Il est dit dans la des-

cription : « La vapeur non saturée surchauffée produit une économie de combustible indépendante de la nature des machines; ce système de vaporisation est applicable à toutes les machines et donne toujours de l'économie, soit à haute ou basse pression, avec ou sans détente, avec ou sans condensation. C'est la production de cette vapeur, quel que soit le liquide qui la fournit, qui constitue le brevet. » Et plus loin : « Il faut que la chaudière ait un volant de chaleur, ce qui s'obtient en augmentant sa masse, surtout dans les parties en contact avec la flamme, soit même par l'interposition d'un métal fusible, plomb, zinc, mercure, etc. C'est la fonte qui répond le mieux aux conditions d'économie et de vaporisation régulière. »

De Quillacq, dans les dessins annexés à la description, montre une chaudière de Cornouailles dans laquelle le surchauffeur est à la suite du foyer et directement chauffé par la flamme avant sa circulation autour de la chaudière; des registres permettent de régler la température du surchauffeur en le séparant à volonté du parcours des gaz du foyer. Nous appelons l'attention sur ce surchauffage par la flamme même, disposition à laquelle on revient aujourd'hui après lui avoir longtemps préféré l'emploi des gaz perdus allant à la cheminée.

Un certificat d'addition au brevet de Quillacq, pris à la date du 29 juin 1850, au nom de Moncheuil, décrit des surchauffeurs appliqués à des chaudières de locomotives; nous en parlerons plus loin; nous dirons seulement ici que Moncheuil, alors directeur du Chemin de fer de Montereau à Troyes, s'intéressait plutôt à l'application de la surchauffe aux locomotives.

Quel que soit l'intérêt de ces dispositions, nous devons surtout appeler l'attention sur les applications réalisées par de Quillacq. Nous avons eu sous les yeux une liste de seize machines diverses ayant reçu des appareils de surchauffe, tant en France qu'en Belgique, jusqu'en 1852.

Ainsi, la machine fixe des Ateliers du Chemin de fer de Montereau à Troyes avait été munie, en 1849, d'un surchauffeur ajouté à la chaudière. D'un rapport de Mollard, Ingénieur du matériel de cette ligne, il résulte que la surchauffe a toujours donné une augmentation considérable de puissance, pour les mêmes conditions de marche, et une économie de près de 50 0/0 à puissance égale. C'était une petite machine à un seul cylindre marchant sans condensation à une admission normale de moitié de la course avec de la vapeur à 4 à 4,5 kg de pression. Mollard

constatait, à la date du 19 septembre 1850, que l'appareil monté l'année précédente, se trouvait au bout d'un an de service en aussi parfait état que le jour de sa mise en marche.

Un rapport de Mehu, directeur des travaux des mines d'Anzin, constate que l'emploi de la vapeur surchauffée sur la machine d'extraction « La Régie » a ramené à 10 de charbon par tonne montée le chiffre de 14,4 qu'on avait avec la vapeur saturée. Le premier chiffre a été plus tard abaissé à 8,3, ce qui donne une économie de 42 0/0 et, dit le rapport, il faut ajouter à cette économie l'avantage résultant d'une augmentation considérable dans l'extraction, car on peut tirer jusqu'à 16 t à l'heure au lieu de 10. Ces résultats ont amené l'application de la surchauffe à trois autres machines d'extraction aux mines d'Anzin.

Un rapport de Glepin constate qu'aux mines du Grand Hornu (Belgique) une machine d'épuisement a donné, avec de la vapeur saturée, 95,9 ch en eau montée avec 400 kg de charbon par heure et, avec la vapeur surchauffée, 110,9 ch avec 350 kg, soit une économie de 24,3 0/0.

Un bateau à vapeur, construit par M. Bichon, à Bordeaux, dont la machine fonctionnant à 5 atm donnant 35,8 tours par minute, avec de la vapeur saturée, brûlait 1,3 hl de combustible par heure. Avec la vapeur surchauffée, on a obtenu 37,6 tours avec une consommation de 1 hl; l'économie ramenée au même nombre de tours serait de 37,4 0/0.

Malgré l'importance de ces applications, la surchauffe ne se répandit pas alors et fut même abandonnée probablement pour des raisons pratiques. La question n'était pourtant pas laissée complètement de côté, et ce progrès était sur le point de prendre un développement considérable pour une application spéciale.

Toutefois, avant d'arriver à l'exposé de ce développement, nous croyons devoir, en suivant toujours l'ordre chronologique, signaler encore quelques propositions qui, si elles ne réussirent pas pour le moment, n'en font pas moins voir que la question de la surchauffe était arrivée à un point de maturité tel qu'il ne fallait plus qu'une occasion pour la faire aboutir d'une manière définitive.

Dans un certificat d'addition en date du 5 avril 1853 à son brevet du 28 août 1850, pour un générateur de vapeur (générateur qui est le point de départ des chaudières actuelles bien connues qui portent ce nom), Julien Belleville s'exprime ainsi : « Le nouveau générateur permet d'obtenir de la vapeur à des

températures bien supérieures à celles qui correspondent à sa tension, parce qu'elle n'est pas formée sur un excès de liquide. La vapeur peut donc être produite, à volonté, saturée ou gazeuse. Cette dernière est bien préférable; à volume égal, elle renferme beaucoup moins de calorique que la vapeur saturée et, comme force motrice, son effet est plus grand, par suite de son extrême siccité. En outre, l'expérience démontre que les fissures par lesquelles s'échappe la vapeur saturée et humide ne peuvent livrer passage à la vapeur gazeuse; le même phénomène doit nécessairement se produire entre les parois des cylindres et les segments des pistons. »

Dans un autre certificat, en date du 6 août 1853, le dessin montre, de la manière la plus précise, un surchauffeur formé d'un serpentin placé à la base de la cheminée, au-dessus du générateur constitué par des tubes enroulés sous forme d'un serpentin rectangulaire.

Nous indiquerons ici qu'à peu près à la même époque, Sochet, Ingénieur de la marine, fit en collaboration avec Cavé, et dans les ateliers de celui-ci, des essais sur un moteur perfectionné comportant l'emploi de la surchauffe et de la condensation par surface et basé sur des idées indiquées par Sochet, dans un brevet du 11 avril 1853. Ces essais ne paraissent pas avoir eu de résultats, à moins toutefois qu'ils ne se rattachent à la construction vers 1855, par la Compagnie des Établissements Cavé, des machines des deux navires *Ville de Bordeaux* et *Ville de Brest*. Ces machines horizontales, type de locomotive, étaient à haute pression avec condensation par surface et recevaient la vapeur à 5 atm absolus d'une chaudière de locomotive de 1,32 m² de surface de grille et 107 m² de surface de chauffe; la vapeur était séchée et légèrement surchauffée dans un réservoir entourant la cheminée (*fig. 134*). Les dessins de ces machines se trouvent au Portefeuille du Conservatoire des Arts et Métiers.

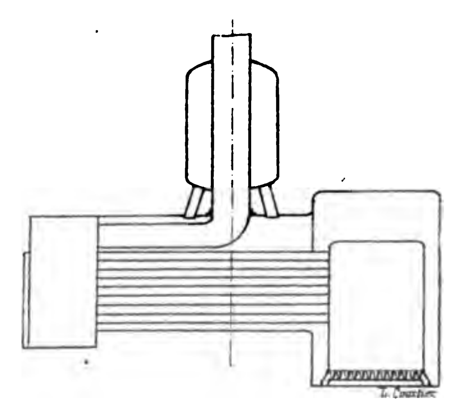


FIG. 134. — Surchauffeur Cavé pour machines marines (1855).

Nous ne savons quels résultats ont donné ces appareils ni même s'ils ont été terminés, car la Compagnie des Établissements Cavé est entrée en liquidation à cette époque (1856). En tout cas, ces navires n'ont laissé aucune trace dans l'histoire. On doit le regretter, car il y avait là une tentative intéressante d'application simultanée de divers progrès universellement adoptés aujourd'hui.

Dans la vie de I. K. Brunel, Londres, 1870, dans la partie consacrée au *Great Eastern*, on trouve des extraits des notes journalières de Brunel, notes où on peut lire, à la date du 11 juillet 1853, ce curieux passage : « Pour les deux moteurs, on devra employer tous les moyens connus pour augmenter l'effet utile : 1° une grande puissance de chaudière ; 2° une détente notable, par exemple une introduction au plus égale à la moitié de la course; 3° une pression effective d'au moins 20 livres par pouce carré (1,40 kg) et si possible 25 livres (1,75 kg) ; 4° des enveloppes de vapeur aux cylindres, aux couvercles, et aux fonds de cylindres, avec alimentation de ces enveloppes par de la vapeur fournie, à une pression d'au moins 10 livres supérieure à celle des chaudières, par un générateur spécial, et il serait bien désirable de faire quelques essais pour apprécier s'il ne serait pas avantageux d'adopter des dispositions pour surchauffer la vapeur avant son arrivée aux machines. »

Ces dernières propositions furent vivement combattues par les constructeurs qui furent consultés, et notamment par Field, de la grande maison Maudslay et Field. Il ne fut pas mis d'enveloppes aux cylindres et Brunel disait avoir toujours regretté de n'avoir pas suffisamment insisté pour les faire adopter. Mais les chaudières des machines à hélice du *Great Eastern*, établies par James Watt et Cie, furent munies de surchauffeurs dès 1859.

C'est des États-Unis que devait venir le fait capital qui détermina l'avancement pratique de la surchauffe.

Depuis 1849, John Frost, de Brooklyn, avait proposé, et même essayé, paraît-il, l'emploi de vapeur très fortement surchauffée qu'il désignait sous le nom de *stame* et à laquelle il attribuait des propriétés tout à fait extraordinaires. Les essais prouvèrent que cette vapeur était très préjudiciable à la conservation des machines.

Des manufacturiers de Baltimore, les frères John et Samuel Wethered, prirent une patente américaine datée du 25 mai 1853 et une patente anglaise du même jour (le brevet français est du

24 juin de la même année) pour l'emploi, dans les machines, de vapeur dite combinée qui n'était autre chose qu'un mélange de vapeur saturée et de vapeur surchauffée. Le principe était le même que celui de Sorel, mais une différence essentielle existait entre les deux systèmes, en ce sens que l'inventeur français se proposait d'obtenir de la vapeur saturée sèche et pas autre chose, tandis que les Américains cherchaient à obtenir de la vapeur modérément surchauffée pour éviter les inconvénients signalés dans l'usage de vapeur à des températures excessives, inconvénients que les expériences faites antérieurement par Frost et d'autres avaient permis de reconnaître.

Les frères Wethered prétendaient que, si une certaine quantité de vapeur est prise dans une chaudière, chauffée ensuite à une haute température, puis mélangée avec de la vapeur ordinaire, un poids donné de combustible produit plus de travail avec cette vapeur que si le même poids avait été employé avec de la vapeur ordinaire. Ils opéraient le surchauffage par la chaleur perdue de la chaudière; cette vapeur arrivait à la boîte à tiroir et s'y mélangeait avec la vapeur ordinaire arrivant du générateur. La température de la première était de 205 degrés centigrades et celle de la seconde de 115; le mélange se trouvait à 150 degrés environ.

Les inventeurs décrivent dans leur brevet diverses dispositions pour opérer la surchauffe, dispositions qui ont été reproduites plus tard. Ainsi : « Nous avons dit que nous faisons passer les tuyaux servant à surchauffer la vapeur dans le fourneau de la chaudière, mais cette disposition peut n'être pas toujours la meilleure. Par exemple, quand il s'échappe par la cheminée beaucoup de calorique, on peut l'utiliser pour surchauffer la vapeur en faisant passer le tuyau qui contient cette vapeur dans la cheminée elle-même. Quelquefois même, il sera plus économique d'avoir un fourneau séparé pour produire la vapeur surchauffée ; c'est d'après les circonstances qu'il faudra déterminer les meilleures dispositions à adopter.

» Pour donner un exemple et guider les mécaniciens lorsqu'ils auront à déterminer la capacité des tuyaux de surchauffe établis d'après notre invention, nous ferons remarquer que nous avons fait des essais qui ont réussi sur une machine de la force de 12 ch. Le tuyau de vapeur avait un diamètre d'environ 59 mm et une longueur de 3,14; le tuyau de surchauffe avait un diamètre de 37 mm et une longueur de 4,95 m environ. »

Les inventeurs présentaient l'emploi de la vapeur dite mélangée comme bien préférable, même au point de vue de l'économie, non seulement à celui de la vapeur saturée, mais aussi à celui de la vapeur surchauffée employée seule, et donnaient des chiffres à l'appui. Nous ne considérons pas comme impossible que cette supériorité alléguée pour la vapeur mélangée ne fût due, au moins en partie, au besoin de justifier une patente, alors que la surchauffe pure et simple était depuis longtemps dans le domaine public.

Quoi qu'il en soit, un premier essai fut fait sur une machine sans condensation actionnant une pompe, ce qui rendait facile la mesure du travail développé. On opérait avec de la vapeur saturée à la température de 110 à 117 degrés centigrades et de la vapeur surchauffée à 170 à 214 degrés, ce qui donnait un mélange à 137 à 155 degrés, avec environ 1 de vapeur surchauffée pour 3 de vapeur saturée plus ou moins humide. Le travail obtenu avec le même poids de combustible brûlé sous la chaudière, dans les mêmes conditions de marche, fut trouvé dans le rapport de 790 à 1 203 et 1 625. Si donc l'emploi de la vapeur surchauffée augmentait l'effet utile de 65 0/0, celui de la vapeur mélangée l'accroissait de 106 0/0, soit 25 0/0 de plus que la vapeur surchauffée.

Les inventeurs eurent la chance d'intéresser à leurs affaires une personnalité des plus influentes alors aux États-Unis, E. K. Collins, directeur de la célèbre Compagnie transatlantique américaine qui portait son nom.

Le système Wethered fut essayé sur le vapeur *Joseph Johnson* naviguant sur l'Hudson; c'était un remorqueur à roues mû par une machine à un seul cylindre de 0,802 m de diamètre et 2,060 m de course. La chaudière, à retour de flamme, avait de gros carneaux à section circulaire à la suite du foyer et des tubes en retour au-dessus, suivant un modèle très en usage aux États-Unis. C'est dans ces tubes que passaient les tubes de surchauffe prenant la vapeur dans l'enveloppe qui entourait la cheminée et la conduisant sur la façade de la chaudière au-dessus des portes de foyers, pour de là l'amener à la boite de mélange placée sur le cylindre.

La figure 134 *bis* donne la disposition du surchauffeur d'après un dessin annexé à un article sur le sujet publié dans le *Journal of the Franklin Institute*, de 1854.

Les essais dont nous parlons furent faits, en 1854, par Isher-

wood et Martin, Ingénieurs en chef de la marine des États-Unis, c'est-à-dire dans des conditions très sérieuses.

Nous donnons ci-dessous les principaux résultats obtenus dans ces essais d'après l'ouvrage de R. Murray *A Treatise on Marine Engines*, édition de 1858 :

	Vapeur saturée.	Vapeur mélangée.
	—	—
Durée des essais.	9 h. 33 m.	9 h. 50 m.
Pression à la chaudière	1,36 kg	1,29 kg
Température de la vapeur surchauffée.	»	300 degrés
— du mélange.	»	176 —
Nombre moyen de tours par minute . .	19,3	20,2
Poids d'anthracite brûlé par heure. . .	301 kg	199 kg

L'économie réalisée ressort donc à 33 0/0.

Nous ferons remarquer que la température du mélange étant dans le second essai de 176 degrés, comme celle de la température saturée à la pression de 1,29 kg serait de 125 degrés environ, on avait une surchauffe de 51 degrés, ce qui établit une différence très nette entre l'objectif de Wethered et celui de Sorel qui se proposait seulement, comme nous l'avons indiqué, d'avoir de la vapeur sèche.

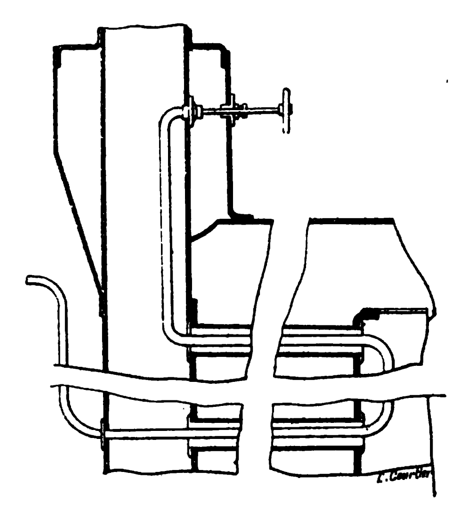


Fig. 134 bis. — Surchauffeur Wethered du vapeur *Joseph Johnson* (1854),

Une autre série d'expériences faites sur la même machine, avec la précaution de réaliser le même nombre de tours dans les deux cas, a donné des consommations de combustible à l'heure de 205 kg pour la vapeur saturée et de 131 kg pour la vapeur mélangée, soit une économie de 36 0/0 en faveur de la seconde.

L'impression de Isherwood et de Martin, à la suite de ces expériences, fut assez favorable pour décider l'essai de ce système sur une échelle autrement importante. Il résulte, en effet,

d'une note insérée dans le *Journal of the Franklin Institute*, année 1854, ainsi que d'une communication de Prosser à l'*Association Britannique* à la réunion de cette Société, à Liverpool, en septembre 1854, communication qu'on trouvera dans le *Civil Engineers and Architects Journal*, de 1854, page 397, que le système Wethered fut appliqué sur le paquebot transatlantique *Arctic*, de la ligne Collins, un des plus grands navires de l'époque (1).

Ce fait se trouve encore confirmé dans une note du *Practical Mechanic's Journal*, d'octobre 1854, ainsi conçue : « M. E. K. Collins, agent de la splendide ligne de paquebots américains entre New-York et Liverpool, a dernièrement muni *(has lately fitted up)* les chaudières de l'*Arctic* des appareils nécessaires pour surchauffer une partie de la vapeur. L'idée de donner une forte surchauffe à une portion de la vapeur et de la mélanger avec le reste de la vapeur avant l'entrée aux cylindres ayant donné de très bons résultats sur une petite machine fixe et sur le vapeur *Joseph Johnson* a attiré vivement l'attention. Les essais ont été faits en partie, sinon entièrement, aux frais de M. Collins qui en a été très satisfait. Quelques traversées ou même une seule suffiront pour résoudre la question. »

Nous citerons enfin le passage suivant du *Manuel de la Machine à vapeur* de W. J. M. Rankine, traduction française de Gustave Richard, Paris, 1878 : « On l'employa (la surchauffe) pendant longtemps sur le steamer américain *Arctic* avec de grands avantages. » Si cette phrase contient une erreur au point de vue de la durée de l'application, elle n'en est pas moins affirmative sur le fait même de cette application.

L'importance de ce fait, qui est resté à peu près entièrement inconnu par suite de très fâcheuses circonstances, nous engage à donner quelques détails sur le navire où elle fut réalisée.

L'*Arctic*, qui formait avec le *Baltic*, l'*Atlantic* et le *Pacific*, la flotte de la ligne Collins établie en 1850, flotte renforcée plus tard par l'addition de l'*Adriatic* dont il a été question à propos de la condensation par surface, était un navire à roues en bois, lancé en 1850 et mis en service dans le courant de la même année. Sa longueur était de 86 m, sa largeur de 13,75 m et son creux de 7,30 m. Sa jauge de douane était de 2850 tx et le tirant d'eau de 6,10 m en pleine charge. Ces dimensions nous

(1) Prosser indique dans sa communication que l'*Arctic* vient de partir de Liverpool pour New-York, voyage qui ne devait pas se terminer, car le jour même de la communication, 27 septembre 1854, le malheureux paquebot disparaissait au fond de l'Océan.

paraissent être bien modestes en présence des paquebots de plus de 200 m de longueur de nos jours, mais elles étaient considérables dans un temps où les vaisseaux de ligne à trois ponts ne dépassaient guère une longueur de 60 m (1).

L'*Arctic* était mû par deux machines à balanciers inférieurs à basse pression, 0,85 kg effectifs, dont les cylindres avaient 2,41 m de diamètre et 3,05 m de course et actionnaient des roues à aubes de 10,80 m de diamètre faisant 14,5 tours par minute au départ et 17,5 à l'arrivée par suite de la différence d'immersion due à la consommation du combustible; cette consommation était d'environ 90 t par vingt-quatre heures pour une puissance indiquée sur les pistons d'environ 1 700 ch, pour 800 ch de puissance nominale.

La vitesse réalisée par l'*Arctic* était de 12 nœuds environ; la plus courte traversée de ce paquebot avait eu lieu en février 1852 où la distance entre New-York et Liverpool fut franchie en 9 jours 17 heures et 12 minutes.

La vapeur était fournie par quatre chaudières ayant chacune huit foyers dont quatre au-dessus des autres avec quatre rangées de tubes verticaux à la suite des foyers. Nous avons donné le dessin de ces chaudières *(fig. 96)* dans la partie consacrée aux chaudières marines. Ces tubes, au nombre de 5 624 en tout, avaient 51 mm de diamètre, et la moitié 1 525 m de longueur et l'autre moitié 1 677 m. La surface de chauffe totale était de 1 121 m² et la surface de grille de 34,7 m².

Les quatre paquebots avaient coûté une somme totale de 15 millions de francs en nombre rond, soit en moyenne 3 750 000 f pour chacun. La ligne Collins fit, pendant sa courte carrière, une concurrence des plus sérieuses à la Compagnie anglaise Cunard, surtout à cause de la vitesse légèrement supérieure de ses bateaux.

L'appareil de surchauffe installé sur les générateurs de l'*Arctic* était formé de tubes en fer de 0,125 m de diamètre placés horizontalement dans les foyers le long des parois longitudinales sur deux rangs, et raccordés par des coudes en fonte malléable. La surface de chauffe obtenue était d'environ 5 0/0 de la surface totale. Une partie de la vapeur produite par les chaudières passait dans le surchauffeur et se réunissait à la machine avec le reste de la vapeur.

(1) Le vaisseau de ligne de premier rang (120 canons) le *Valmy*, construit en 1845, avait 62,50 m de longueur à la flottaison.

Prosser, dans sa communication à l'Association britannique, après avoir décrit cet arrangement, ajoute qu'il n'en est pas partisan; il pense qu'il aurait mieux valu employer la surface de chauffe additionnelle ainsi créée à produire un supplément de vapeur saturée.

Il est extrêmement regrettable qu'on ne puisse pas connaître les résultats donnés par cette intéressante installation, mais l'*Arctic* se perdit par suite d'une collision avec le vapeur français *Vesta*, le 27 septembre 1854, en revenant de Liverpool, probablement au retour de son premier voyage avec l'addition de la surchauffe, et la Compagnie Collins fortement éprouvée par ce sinistre dans lequel son directeur avait perdu sa femme, un fils et une fille, parmi les 322 victimes de la catastrophe, et par la perte, corps et biens, qui suivit, en 1856, du *Pacific*, n'eut guère le loisir de songer à continuer les essais de la surchauffe. Dans une communication faite plus tard (1860) à l'*Institution of Civil Engineers*, à Londres, Wethered dit que son système avait été appliqué sur les paquebots de la ligne Collins; il n'y a probablement dans ce pluriel qu'une manière de parler et il y a un fait certain, c'est que l'*Adriatic*, mis à l'eau en 1856 pour cette ligne, ne reçut pas de surchauffeurs.

Dès 1854, les frères Wethered s'adressèrent à la fois à la marine française et à la marine anglaise.

L'ouvrage déjà cité de R. Murray donne les chiffres suivants relevés, dit-il, dans les expériences faites en France :

	Vapeurs		
	Saturée.	Surchauffée.	Mélangée.
Pression moyenne à la chaudière.	2 atm	2,4	2,35
Nombre de tours en quatre heures.	7 892	7 886	7 886
Combustible dépensé	151 kg	98,8	72

Les conclusions de la Commission française chargée de suivre ces essais sont que :

1° L'emploi de la vapeur surchauffée a réduit, par comparaison avec la vapeur saturée, la consommation de combustible dans le rapport de 100 à 65;

2° L'emploi du mélange de vapeur surchauffée et de vapeur saturée donne, par rapport à celui de la vapeur surchauffée seule, une économie de 26 0/0 et par rapport à la vapeur saturée, de 53 0/0.

Nous ne trouvons, dans l'auteur anglais, aucune indication sur les circonstances dans lesquelles avaient été faites ces expériences, mais, dans les rapports officiels sur l'Exposition universelle de 1855, il était dit que le Jury a fait des essais sur un moteur à vapeur mélangée exposé par MM. Wethered frères, de Baltimore, moteur basé sur une idée émise dix ans auparavant par Sorel, et ce sont sans doute ces expériences dont il vient d'être question.

Il nous paraît utile de reproduire ici le texte du rapport du Jury international dont le rapporteur était Fournel, Ingénieur des Mines, Secrétaire de la Commission centrale des Machines à vapeur :

« MM. Wethered frères, de Baltimore, ont envoyé une machine horizontale avec une chaudière particulière qui, à certains égards. est, à proprement parler, la pièce exposée. Celle-ci est tubulaire verticale et, à son extrémité, se trouve une espèce de serpentin que la flamme vient lécher et dans lequel passe la vapeur pour se surchauffer. Cette vapeur surchauffée se rend à la boite de distribution, mais cette boite reçoit aussi d'un tube, qui part directement de la partie supérieure du corps de la chaudière, une certaine quantité de vapeur non surchauffée, de sorte que c'est le mélange de ces deux vapeurs que la boite de distribution envoie dans le cylindre. Cette idée et un appareil tout à fait analogue ont été produits il y a plus de dix ans, par M. Sorel, bien connu par diverses inventions et qui paraît n'avoir pas donné suite aux tentatives qu'il a faites dans cette voie. Mais, précisément, parce que cette voie peut conduire à de bons résultats, comme la théorie l'indique et comme semblent le confirmer quelques expériences faites sur la machine exposée, le Jury a pensé devoir accorder un encouragement (médaille de deuxième classe) à la suite que MM. Wethered frères entreprennent de donner à l'idée de Sorel. »

Il ne paraît pas avoir été donné suite à ces essais en France, mais il en a été autrement en Angleterre. Des surchauffeurs furent installés sur le yacht de l'Amirauté *Black Eagle* et sur le transport de la marine royale *Dee*. Les expériences faites sur ces navires en février et août 1856 sont rapportées avec de grands détails dans l'ouvrage déjà cité de Murray, lequel indique que, sur le *Dee*, le surchauffeur était fait de tuyaux en fer enroulés en serpentin et placés dans la boite à fumée à la base de la cheminée et rejoignant la conduite de vapeur près des cylindres.

Des chiffres très nombreux donnés par Murray, nous avons extrait les plus intéressants qui figurent dans le tableau ci-contre.

L'économie moyenne obtenue sur le *Black Eagle* est de 18 0/0 et, sur le *Dee*, où la température du mélange était plus élevée, de 30 0/0. Nous avons tenu à indiquer les températures pour faire voir que, dans le système Wethered, il y avait bien une surchauffe réelle s'élevant à un taux variant de 16 à 50 degrés, tandis que, comme nous l'avons déjà exposé, Sorel ne faisait pas du tout de surchauffe et se contentait de sécher la vapeur; le procédé était identique, mais le but différent; les expériences montrent bien que l'économie augmente avec le degré de surchauffe. La distinction dont nous parlons paraît avoir échappé au rapporteur de la Commission de l'Exposition.

Murray, à la suite des indications qu'il donne sur les résultats des essais dont nous venons de parler, fait observer que les différences constatées peuvent s'expliquer par le fait que, moins la chaudière est efficace en elle-même, plus l'appareil additionnel donne de bénéfice, par la double raison que la vapeur est chargée d'eau et que la fumée sort à une température élevée. Si, avec une chaudière donnant de la vapeur sèche et ne laissant échapper les gaz de la combustion que notablement refroidis, on n'a que peu à gagner avec la surchauffe, il n'en est plus de même avec un générateur réalisant des conditions tout à fait différentes. Si le moyen proposé peut améliorer à peu de frais des chaudières défectueuses, il n'en est pas moins vrai qu'il est, en général, préférable de s'appliquer à établir les générateurs dans de bonnes conditions. L'auteur anglais ne semble pas s'être préoccupé ici de l'avantage de la vapeur surchauffée au point de vue du fonctionnement des machines.

Il paraît avoir encore été fait usage du système Wethered sur deux autres navires, dont le vapeur de la marine royale *Rhadamanthus* et le paquebot *Avon* de la Compagnie *Royal Mail*, ce dernier en 1857; les résultats furent satisfaisants, mais les articles de journaux qui rendent compte de ces applications disent déjà qu'on obtiendrait évidemment les mêmes avantages et d'une manière plus simple avec la surchauffe pure de la vapeur. C'est ce qu'on ne tarda pas à réaliser et le système Wethered disparut complètement, tandis que la surchauffe simple prenait un développement rapide, comme nous le verrons plus loin. Nous devons encore mentionner toutefois un cas où le système Wethered fut mis en usage. C'est dans les expériences

VAPEUR	DURÉE DES ESSAIS	PRESSION à la CHAUDIÈRE	TEMPÉRATURE DE LA VAPEUR			NOMBRE DE TOURS par minute	PUISSANCE INDIQUÉE	CHARBON par CHEVAL INDIQUÉ et par heure
			SATURÉE	SURCHAUFFÉE	MÉLANGÉE			
	heures	kg	degrés	degrés	degrés		ch	kg
Yacht de l'Amirauté *Black Eagle*. Février 1856.								
Saturée	5	1,35	112	—	—	22,1	487,6	2,81
Surchauffée . . .	9	1,37	113	227	136	21,7	482,4	2,52
Saturée	8	1,35	111	—	—	22,4	566,1	2,62
Surchauffée . . .	5	1,35	112	253	124	22,5	513,9	2,13
Transport *Dee*. Août 1856.								
Saturée	18	1,20	109,5	—	—	23,6	482,1	2,37
Surchauffée . . .	18	1,19	109	222	159	23,8	503,8	1,41

faites par B. Isherwood sur le vapeur *Georgiana* de juillet à décembre 1862, expériences entreprises dans le but d'étudier l'effet utile de la vapeur dans les cylindres des machines. Ce navire avait une chaudière à cinq foyers avec surchauffeur tubulaire placé dans la base de la cheminée. La pression était de 30 livres, soit 2,1 kg effectifs, la puissance développée étant de 450 ch indiqués ; les essais avaient lieu entre Baltimore et Norfolk dans la baie de Chesapeake; une partie furent faits avec la vapeur mélangée. Ces expériences sont relatées avec de grands développements dans les *Experimental Researches in Steam Engineering*, publiées par Isherwood de 1863 à 1865. Comme cette publication est extrêmement rare, nous croyons utile d'indiquer que ce qui concerne les essais du *Georgiana* a été reproduit en partie dans l'*Engineer*, 1866, vol. II, page 314.

Si leur système n'a eu qu'une vogue éphémère, on ne saurait toutefois contester que les frères Wethered rendirent un très grand service en attirant l'attention sur la question de l'applica-

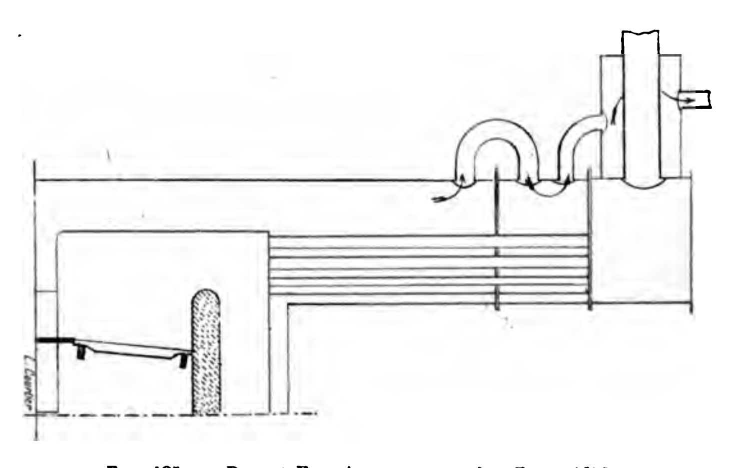


Fig. 135. — Brevet Emorine pour surchauffeur (1855).

tion de la surchauffe à la navigation et en démontrant par des essais faits sur une grande échelle que les surchauffeurs étaient des appareils qu'on pouvait employer pratiquement sur des navires. Leur nom ne saurait être oublié dans l'histoire de ce progrès et il doit y figurer en bonne place.

En dehors de la marine, la question, déjà abordée très sérieusement, comme nous l'avons vu précédemment, était loin d'être abandonnée. Nous ne trouvons pas en 1855, par exemple, moins

de six brevets français pour des surchauffeurs et certains de ces brevets présentent un très réel intérêt. Ainsi nous en citerons un du 2 avril 1855, au nom d'Emorine, à Lyon, brevet où est décrite une chaudière tubulaire dans laquelle un surchauffeur est constitué par le prolongement des tubes à travers une capacité cylindrique comprise entre l'enveloppe de la chaudière, la plaque tubulaire et une autre plaque séparant cette capacité de la boite à fumée (*fig. 135*). La vapeur produite par la chaudière passe dans cette capacité avant de se rendre à la machine. Un fait à signaler est que l'inventeur, en décrivant sa chaudière, indique le surchauffeur comme en faisanl partie sans émettre aucune revendication à propos de cet appareil.

Dans un autre brevet du 2 juillet 1855 (1), pris par Bède, à

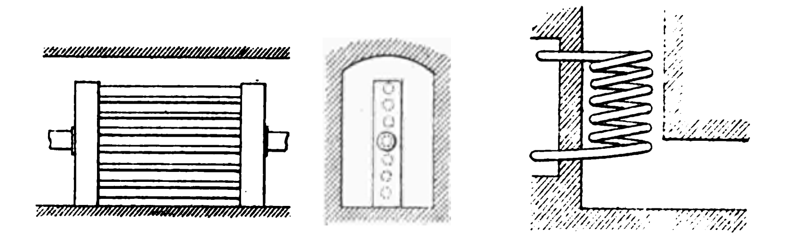


Fig. 136 et 137. — Surchauffeurs de Bède (1854).

Liége, pour un appareil à surchauffer la vapeur, tout en critiquant, en passant, l'emploi de la vapeur mélangée qu'il trouve inutilement compliqué, l'auteur explique que, pour surchauffer rapidement la vapeur, il faut employer des appareils présentant une grande surface pour un faible volume, soit des tuyaux capables de contenir au moins le volume de vapeur consommé à chaque coup de piston de la machine, et placés dans la cheminée ou dans un des conduits de fumée du fourneau où la température n'excédera pas 350 degrés. Lorsque l'appareil fonctionnera, la température s'abaissera au-dessous et la vapeur pourra s'échauffer jusqu'à plus de 250 degrés. Les appareils sont composés de faisceaux tubulaires ou de serpentins (*fig. 136 et 137*), de préférence en cuivre ; l'auteur n'est pas partisan de la fonte qui exige trop d'épaisseur. Il expose que son appareil adapté à une machine à détente et condensation, marchant à 3 atm effectives

(1) Le brevet belge de Bède est daté du 27 septembre 1854.

de pression et faisant 25 ch., a produit une économie de 24 0/0, sans que l'on ait constaté la moindre détérioration ou le moindre changement d'allure dans la marche de la machine.

Nous arrivons maintenant chronologiquement à G. A. Hirn, dont le nom vient tout naturellement sous la plume lorsqu'on traite de la surchauffe. Hirn prit, à la date du 12 novembre 1855, un brevet pour un *hyper-thermo-générateur* ou appareil à surchauffer la vapeur des moteurs, mais il avait précédemment, à la date du 25 avril de la même année, présenté à la *Société Industrielle de Mulhouse* une communication sur la question des enveloppes de vapeur. Cette communication, qui traite d'un essai de théorie de la machine à vapeur, fait de sobres allusions à la surchauffe. Voici la plus précise : « Frappés de cette idée que l'eau entraînée par la vapeur doit être nuisible au rendement d'une pompe (machine à vapeur) quelconque et avertis d'ailleurs par un grand nombre d'accidents des dangers que présente cette eau lorsqu'elle s'accumule dans les cylindres, nous avons placé à côté de la chaudière de la machine deux cylindres en tôle de grandes dimensions, chauffés par la fumée et traversés par la vapeur allant à la pompe. La conséquence immédiate en était que la vapeur non seulement déposait toute son eau et se séchait, mais aussi qu'elle se surchauffait légèrement (très légèrement, car Hirn dit que la surchauffe était à peine de 2 à 3 degrés). Eh bien ! il ne nous a pas été possible de constater le moindre bénéfice dans le rendement de la machine, par suite de cette addition » (page 117 du *Bulletin* de 1855 *de la Société de Mulhouse*).

Plus loin, page 169, Hirn dit : « Il ne peut être douteux que si, au lieu du mode de surchauffe incomplet décrit page 117 que j'ai appliqué à la machine à un cylindre sans enveloppe, on élevait la température de la vapeur assez fortement au-dessus de celle qui correspond au maximum de tension, on augmenterait beaucoup l'efficacité de l'enveloppe de Watt et on ferait croître l'effet utile de la machine à enveloppe, à détente et à condensation, dans une proportion très considérable. C'est à l'expérience à vérifier et à justifier cette vue théorique sur laquelle je reviendrai bientôt encore. »

Ici, Hirn ajoute en note : « S'il était permis en pareille matière de se rapporter à des *on dit*, j'ajouterais que le fait que je signale ici comme probable est déja vérifié, même pour des machines sans enveloppes. Voici, en effet, ce qu'on lit dans un article de

l'*Illustrated London News* : Nouvelles locomotives accélérées (express) sur le *London and North Western*. — L'emploi d'un récipient de surchauffe introduit dans la cheminée dans le but de chauffer la vapeur augmente de beaucoup la force disponible ; cet accroissement de force élastique ne s'élève pas à moins de 50 0/0.

Il est facile de voir par le texte de cette citation que le document ne provient pas d'une source technique, car il y est fait allusion à un accroissement par la surchauffe de la force élastique de la vapeur, accroissement impossible à produire bien qu'il ait été plus d'une fois avancé par les inventeurs. En tout cas, il semblerait que l'article du journal illustré anglais soit la première notion qu'ait eu Hirn d'une tentative d'application de la surchauffe de la vapeur. Il est à regretter que son attention n'ait pas été attirée plutôt sur le *Journal de l'Institut de Franklin*, publication très connue des savants des deux mondes et où il aurait trouvé des renseignements de bien autre valeur sur la question.

Quant aux locomotives du *London and North Western*, nous y reviendrons en traitant de la surchauffe dans les locomotives.

Nous passons maintenant au brevet pris par Hirn en 1855 et qui se trouve être l'avant-dernier, par ordre de date, des brevets pris cette année pour la surchauffe. Il n'est pas inutile d'indiquer que, douze ans auparavant (2 août 1843), Hirn avait pris (1), avec un Ingénieur suisse du nom de Schinz, un brevet pour un appareil à adapter aux chaudières à vapeur dans le but d'utiliser une plus grande quantité de calorique. C'était un réchauffeur d'eau d'alimentation formé de tubes de petit diamètre 6 à 20 mm, roulés en serpentin et placés dans un carneau à la suite de la chaudière et recevant l'eau d'alimentation à l'intérieur, la circulation se faisant dans le sens opposé au courant de fumée pour avoir un chauffage méthodique.

Un Ingénieur de Mulhouse, Jeanneney, avait apporté à cet appareil quelques modifications intéressantes consignées dans un brevet du 6 juillet 1850.

Si nous citons le brevet Hirn et Schinz, c'est pour faire voir que l'appareil décrit dans ce brevet peut être aussi bien un surchauffeur de vapeur qu'un réchauffeur d'eau, mais les auteurs n'avaient pas à l'époque pensé à la surchauffe. L'idée de l'utiliser

(1) La *Publication Industrielle* d'Armengaud, vol. XIV, 1863, p. 106, attribue ce brevet à A. Hirn, ce qui indique bien qu'il s'agit du savant Adolphe Hirn et non de son frère aîné Ferdinand.

n'est venue à Hirn que plus tard lorsque son attention s'est trouvée attirée sur cette question.

Nous donnons ici le début du brevet : « La théorie et l'expérience démontrent qu'on obtient une économie de combustible très notable lorsque, dans les diverses machines à vapeur, on remplace la vapeur saturée par de la vapeur surchauffée ; cette surchauffe peut conduire à une économie de 10 à 30 0/0 de combustible. Plusieurs obstacles très sérieux, cependant, s'opposaient jusqu'ici à l'emploi général de la vapeur portée ainsi à une température très supérieure à celle qui répond au point de saturation ; ces obstacles ont, dans bien des cas déjà, fait abandonner un perfectionnement fort important dans la construction des

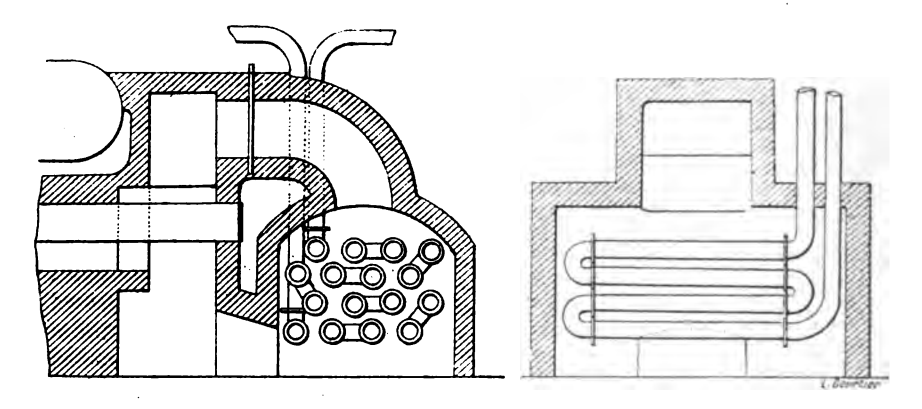


Fig. 138. — Surchauffeur de Hirn (1855).

machines à vapeur. » Hirn décrit ensuite son appareil qui évite les inconvénients rencontrés dans l'usage de la vapeur surchauffée et qui répond à toutes les exigences de la pratique. Cet appareil se compose de seize tuyaux en fonte *(fig. 138)* réunis par des coudes et placés horizontalement dans une chambre à la suite des bouilleurs d'une chaudière de ce système.

Des valves permettent de mettre l'appareil dans le circuit parcouru par les gaz chauds ou hors de ce circuit, de manière à permettre de tenir à un degré voulu la température de la vapeur au sortir des tuyaux.

La description très brève que nous venons de donner suffit pour faire voir que Hirn paraît avoir, au moment où il a rédigé sa demande de brevet, été beaucoup plus documenté que six mois auparavant sur les essais faits antérieurement avec la

vapeur surchauffée, puisqu'il parle de l'expérience qui en prouve l'utilité; il est bien difficile d'admettre qu'il ait fait ici allusion à son essai rudimentaire qui, de son propre aveu, n'avait donné aucun résultat. Il est plus que probable que Hirn avait étudié la question de plus près et recherché ce qui avait été fait auparavant.

On trouve deux choses dans le brevet de Hirn : d'abord l'affirmation des avantages de la surchauffe, affirmation basée en partie sur l'expérience acquise précédemment, et l'indication d'un appareil qui paraît à l'inventeur préférable à ceux qu'on a proposés auparavant pour opérer la surchauffe de la vapeur.

Sont-ce là des titres qui justifient le dire de l'éminent professeur de Lille, notre collègue M. Aimé Witz, qui, dans son *Histoire de la surchauffe de la vapeur*, s'exprime ainsi : « Ce brevet de Hirn est un document très important dans l'histoire de la surchauffe de la vapeur? »

N'y a-t-il pas là un peu d'exagération? Il semble qu'il n'y ait guère plus dans ce brevet que dans un certain nombre d'autres qui ont sur celui de Hirn l'avantage de l'antériorité. On a même été jusqu'à dire que ce qu'il y avait de plus nouveau dans le brevet du savant alsacien, c'était le nom d'*hyper-thermo-générateur* qu'il avait employé dans ce document pour désigner son appareil. Heureusement, Hirn a d'autres titres de gloire que ce brevet, au premier rang desquels sa seconde communication à la Société de Mulhouse, faite dans la séance du 29 octobre 1856, sur la théorie de la surchauffe dans les machines à vapeur. Cette communication est très importante et doit, à plus juste raison que le brevet précité, occuper une place considérable dans l'histoire de la surchauffe, tout au moins au point de vue théorique.

L'auteur rappelle que, dans sa précédente communication (25 avril 1855), il indiquait que l'expérience seule pouvait décider de la justesse des considérations théoriques qu'il exposait relativement aux avantages de la surchauffe; or, en ce moment même, l'expérience avait déjà prononcé. Hirn vise ici la machine de Wethered, au sujet de laquelle il dit que, bien que les constructeurs paraissent s'être fait illusion sur les résultats réels, il paraît cependant que ceux-ci sont fort satisfaisants en eux-mêmes et évalués strictement. (Évidemment, Hirn parle du moteur essayé en France et non des machines marines, dont il ne paraît pas avoir eu connaissance alors.) Il ajoute que

M. Farcot lui a dit avoir essayé de chauffer la vapeur au-dessus de son degré naturel et avoir obtenu un avantage marqué en combustible, particulièrement sur des machines sans enveloppes de vapeur.

Le mémoire décrit les applications de la surchauffe faites à deux machines à vapeur, l'une de 112 ch, du système Woolf, l'autre de 110 ch à un seul cylindre; cette dernière est la machine *historique* du Logelbach; les résultats obtenus se traduisent par une économie de 20 0/0 pour la première et 31 à 45 0/0 pour la seconde, selon le degré de surchauffe. La température de la vapeur était de 230 à 240°.

Hirn explique très nettement que la principale cause de l'économie réalisée par l'emploi de la surchauffe n'est ni dans l'évaporation de l'eau entraînée, ni dans la dilatation par la chaleur de la vapeur d'eau. Elle réside dans la suppression des condensations que la vapeur éprouve dans le cylindre par l'action des parois.

Nous ne croyons pas devoir aller plus loin dans des considérations théoriques certainement d'un très grand intérêt, mais qui sortent de notre modeste cadre.

Nous estimons que ce qui précède permet de se rendre bien compte du véritable rôle joué par Hirn dans la question de la surchauffe; ce rôle consiste à avoir le premier procédé à des expériences scientifiques et raisonnées sur des machines à vapeur surchauffée et à avoir indiqué les causes réelles de l'économie obtenue par l'emploi de la surchauffe en donnant la véritable théorie de ce progrès ou, plus exactement, en définissant d'une manière claire et précise le rôle joué par la surchauffe dans la théorie de la machine à vapeur. Cette part est évidemment très importante et est incontestablement acquise à Hirn.

Quant à aller plus loin et à faire remonter à ce savant l'introduction de la surchauffe dans les machines à vapeur, comme certains auteurs cherchent à le faire, c'est autre chose. Les faits que nous avons exposés parlent d'eux-mêmes pour réfuter cette exagération.

M. A. Witz, dont les ouvrages font autorité et avec lequel nous avons le regret de nous trouver en désaccord sur cette question, en présence de ces faits impossibles à contester, croit pouvoir considérer les auteurs de propositions ou même d'essais de surchauffe antérieurs à Hirn comme des *thermodynamistes inconscients* et ajoute que « les constructeurs n'auraient pas tiré

parti de ces premiers essais si le savant alsacien ne leur avait frayé le chemin, montré les voies à suivre et signalé les impasses ».

Nous ne savons pas si la qualification dont se sert M. Witz de *thermodynamistes inconscients* est employée dans un bon ou dans un mauvais sens, c'est-à-dire implique un éloge ou une critique; nous ferons remarquer seulement qu'elle devrait, en bonne justice, s'appliquer également à Watt, à Hornblower, Woolf et autres, qui ont créé et perfectionné la machine à vapeur sans connaître les principes de la thermodynamique. On sait que certains auteurs n'ont pas craint d'avancer irrévérencieusement que, si la thermodynamique n'avait jamais existé, les machines à vapeur n'en brûleraient pas un gramme de combustible de plus, le rôle de cette science ayant jusqu'ici, en ce qui concerne ces machines, été seulement d'expliquer après coup les raisons d'être des dispositions telles que l'enveloppe, l'expansion multiple, etc., adoptées pour ainsi dire d'instinct par les premiers constructeurs. On peut y ajouter la surchauffe.

Il ne faudrait pas d'ailleurs croire que l'adoption presque générale de la surchauffe dans la marine, qui s'est produite à partir de 1856, tant en Angleterre qu'en France, ait été inspirée par les travaux de Hirn.

Dans le premier de ces pays, elle a été la suite naturelle des essais faits sur la vapeur mélangée, et, dans le second, elle était déjà, après un point de départ différent, en voie de développement, comme nous le verrons plus loin. M. Sinigaglia, dans la *Revue de Mécanique* 1897, page 354, dit : « En 1856, Hirn publia son grand travail sur la surchauffe et, en 1859, le constructeur anglais Penn appliqua celle-ci sur le *Valetta*. » Il y a là deux faits consécutifs, mais nullement corrélatifs. Ce n'est pas le cas de dire : *Post hoc, ergo propter hoc*.

Ces jours-ci même, 7 avril 1908, un Ingénieur en retraite de la marine, M. Félix Godard, dans une communication sur la surchauffe dans la marine devant l'*Institution of Naval Architects* disait : « la vapeur surchauffée a été employée dans les machines marines il y a plus d'un demi-siècle à la suite des expériences bien connues de Hirn sur la machine du Logelbach ». Le lecteur est à même par ce qui précède d'apprécier l'exactitude de ce dire.

Nous tenons à mettre entièrement en dehors des exagérations de ce genre émises déjà de son vivant par des amis trop zélés, la

personnalité de Hirn qui n'était pas homme à s'attribuer ce qui ne lui était pas dû. Nous en avons eu personnellement la preuve. Le savant alsacien nous fit l'honneur de nous écrire en 1877 pour revendiquer en faveur de son collaborateur Leloutre la première constatation d'un fait important relatif à la vapeur surchauffée, constatation que nous lui avions attribuée à lui, Hirn. (Voir le procès-verbal de la séance du 7 décembre 1877 de la Société des Ingénieurs Civils).

Nous reprenons maintenant la suite des applications de la surchauffe à la marine; nous en étions resté à l'installation faite, en 1857, sur l'*Avon*, paquebot de la *Compagnie Royal Mail*, où elle avait donné une économie de 25 0/0 et fait gagner un nœud sur la vitesse réalisée antérieurement. Sur ces entrefaites, dit l'*Artizan*, dans son numéro de mai 1858, le surchauffeur de la *Dee* ayant été reconnu peu commode d'emploi, on le remplaça par un dispositif formé d'un faisceau de tubes placé à la base de la cheminée et que traversait la vapeur et dû à David Patridge, inspecteur des machines à l'arsenal de Woolwich et, en même temps, on supprima le mélange en envoyant simplement à la machine la vapeur surchauffée. Dans un essai fait dans la Tamise, les 17 et 18 mai 1858, la consommation de combustible, qui était de 620 kg à l'heure avec la vapeur saturée, tomba à 440, soit une économie de 30 0/0 environ. C'est, croyons-nous, la date réelle de l'introduction de la surchauffe pure dans la marine anglaise et l'origine de cette introduction est nettement mise en lumière par ce qui précède. On en trouve la confirmation dans la discussion qui suivit la communication faite par John Wethered à l'*Institution of Civil Engineers*, le 27 mars 1860, sur la vapeur mélangée.

Dans cette discussion, si on a généralement paru trouver un peu empreints d'exagération les avantages attribués à sa méthode par l'inventeur, des Ingénieurs autorisés tels que le Président, George Parker Bidder, le constructeur éminent Humphrys, etc., ont reconnu très nettement qu'à Wethered était incontestablement dû le mérite d'avoir enseigné l'emploi de la vapeur surchauffée dans la marine et d'y avoir lui-même introduit ce progrès. Le nom de Hirn n'a pas été prononcé dans la discussion, pas plus d'ailleurs que dans d'autres communications faites en 1859 et 1860 sur le même sujet à l'*Institution of Mechanical Engineers*, et nous sommes intimement persuadé que ce fait est dû purement et simplement à ce que les travaux du savant alsacien

sur la surchauffe n'étaient pas encore venus à la connaissance des Ingénieurs et constructeurs qui ont pris part à ces discussions.

Le premier navire sur lequel la surchauffe ait été introduite directement paraît être le *Ceylon*, de la *Compagnie Péninsulaire et Orientale*, dont l'appareil moteur avait été fourni par la maison Humphrys et Tennant, de Londres; ce fait remonte à la fin de 1858, c'est-à-dire quelques mois après l'installation du surchauffeur Patridge sur le *Dee*.

La consommation de 1 500 t par voyage tomba à 1 100 après l'installation du surchauffeur; la proportion de la surface de celui-ci était de 9,3 dcm^2 par cheval indiqué. Le *Nepaul* et l'*Alhambra*, de la même Compagnie, suivirent de près; le premier fut mis en service en janvier 1859.

Deux bateaux à voyageurs de la Tamise, l'*Osprey* et le *Swift*, reçurent des surchauffeurs Parson et Pilgrim, dans le milieu de 1859. Les paquebots *Bogota*, *Callao*, *Lima* et *Valparaiso*, de la Compagnie de Navigation du Pacifique, portant des machines à double expansion de Randolph et Elder, furent munis de surchauffeurs en mai 1859.

Ce fut à la même époque, mai 1859, que John Penn en installa un sur le vapeur *Valetta*, de la Compagnie Péninsulaire et Orientale, de 260 ch nominaux, pourvu de chaudières à lames de Lamb et Summers et affecté au service postal entre Marseille et Alexandrie. Ce surchauffeur était formé de deux faisceaux de tubes en fer de 51 mm de diamètre et 1,91 m de longueur, au nombre de 44 pour chacun des faisceaux, et donnait à la vapeur une surchauffe de 50 degrés centigrades. M. A. Witz dit, à la page 80 du mémoire déjà cité : « John Penn avait introduit la surchauffe dans la marine dès 1859 et le succès le plus franc avait accueilli cette innovation. » On voit par ce qui précède qu'il y a là une erreur, l'éminent constructeur a eu assez de titres de gloire pour qu'il soit inutile de lui en attribuer qui ne lui sont pas dus. Mais nous retiendrons une chose du dire de M. Witz, c'est que John Penn n'ayant eu (on peut en juger par par sa communication de 1859 aux *Mechanical Engineers* et les observations qu'il a présentées à la discussion déjà citée de 1860 à l'*Institution of Civil Engineers*) aucune connaissance des travaux de Hirn sur la surchauffe, le succès très franc obtenu par lui avec le surchauffeur du *Valetta* prouve bien que ce succès, comme les précédents, a pu être obtenu sans que, suivant les expressions déjà citées du savant professeur de Lille,

Hirn « eût frayé le chemin à leurs auteurs, leur eût montré la voie à suivre et signalé les impasses, etc. ».

Pour terminer en ce qui concerne les rapports de John Penn avec la question de la surchauffe, nous ajouterons que, dans sa communication faite, le 7 septembre 1859, à l'*Institution of Mechanical Engineers*, dont il était Président, le célèbre constructeur exposait que ses premières notions sur l'emploi de la vapeur surchauffée remontaient à 1832, où il avait assisté aux essais faits par Howard et par Haycraft, avec lesquels il était personnellement lié, et que ces essais avaient amené chez lui une opinion très favorable aux avantages de la surchauffe. Non seulement dans cette communication, Penn ne dit pas un mot qui puisse le faire considérer comme l'introducteur de la vapeur surchauffée dans la marine, mais, au contraire, il rend hommage aux mérites de ceux qui, comme Wethered, Patridge, Pilgrim, etc., ont tant fait pour établir la valeur de ce perfectionnement par des applications pratiques. Ce témoignage d'une personnalité telle que John Penn nous paraît décisif.

Depuis cette époque, nous pouvons citer au courant de la plume et sans nous préoccuper de l'ordre chronologique, parmi les plus remarquables navires sur lesquels la surchauffe ait été établie en Angleterre : le yacht royal *Victoria and Albert*, les paquebots de la Compagnie Péninsulaire et Orientale (outre ceux déjà nommés plus haut) *Pera*, *Sultan*, *Poonah*, *Delhi*, *Carnatic*, *Baroda*, *Mooltan*, *Ripon*, *Syria*, *Charkieh*, *Dakalieh*, *Colombo*, etc., les paquebots de la Compagnie Royal Mail, *Rhône*, *Douro*, *Tyne*, *Tamar*, etc.; ceux de la ligne d'Holyhead, *Leinster* et *Connaught*; les bateaux Cunard, *Australasian* et *Persia* (1859); le troopship *Malabar;* les cuirassés *Hercules*, *Lord Warden;* les frégates *Arethusa*, *Octavia*, *Constance*, etc., enfin, le *Great Eastern*, dont les chaudières des machines à hélice construites par James Watt et Cie, reçurent, dès 1859, des surchauffeurs Patridge formés de caisses en parallélipipèdes remplies de tubes verticaux et placées à la base des cheminées.

Voici quelques extraits des journaux anglais de l'époque qui édifieront le lecteur sur l'importance des applications déjà faites de la surchauffe. « La Compagnie Péninsulaire et Orientale a dépensé en 1858 2 millions de francs pour le seul transport de ses charbons. Pour réduire cette dépense, elle applique la surchauffe; six de ses navires en sont déjà pourvus et on l'installe sur huit autres » (*Engineer*, 9 décembre 1859).

« La Compagnie Péninsulaire et Orientale brûle pour 15 millions et demi de francs de charbon par an; on espère, par l'emploi général de la surchauffe, obtenir une économie de 5 millions. Celle-ci est déjà installée sur beaucoup des navires de cette Compagnie, sur les bateaux de Woolwich, sur des caboteurs à vapeur et sur le *Great Eastern.* » (Même journal, 1860).

« Le surchauffeur à lames de Lamb et Summers est déjà largement employé sur les paquebots de la Compagnie Péninsulaire et Orientale, sur ceux de l'*Union Steam Packet Company*, qui fait le service du Cap, et sur beaucoup d'autres navires attachés au port de Southampton, et y a obtenu le succès le plus incontesté. » (Murray, *Theory and Practice of Ship building*, Édimbourg, 1861.)

« Le surchauffeur Patridge est déjà installé sur cinquante-deux navires en service représentant 16 673 ch nominaux (plus du triple de chevaux indiqués) sans compter un grand nombre en montage. » (Communication sur la surchauffe, faite à la *Society of Engineers*, par M. F. Nursey, 8 avril 1861.)

Enfin, un article de l'*Engineer*, du 12 avril 1861, mentionne que plus de deux cent cinquante navires sont munis de surchauffeurs; il ajoute, il est vrai, que, dans certains cas, on a dû les enlever tant à cause de leur usure rapide que par suite des avaries occasionnées aux machines par les grippements et la détérioration due aux parcelles d'oxyde entraînées avec la vapeur. Le journal fait observer que « ces accidents sont imputables à la mauvaise disposition de certains surchauffeurs ou à leur conduite défectueuse beaucoup plus qu'au principe lui-même ».

En 1864, l'*Engineer* indique que trente navires de la *General Steam Navigation Company*, faisant le service entre l'Angleterre et les ports du Continent sur la mer du Nord, sont munis de surchauffeurs. Nous croyons pouvoir dire que dès cette époque, c'est-à-dire à peine huit ans après les premiers essais de la surchauffe en Angleterre, il y avait déjà des surchauffeurs installés sur navires pour une puissance indiquée de *plusieurs centaines de mille chevaux*.

Si, comme nous l'avons indiqué plus haut, l'emploi de la surchauffe dans les navires anglais dérive directement des essais faits avec la vapeur mélangée, il n'en est pas de même en France, où un fait particulier est intervenu dans son introduction. Nous voulons parler ici de l'emploi préalable de dispositifs ayant pour objet simplement le séchage de la vapeur et non son surchauffage.

Dans un ouvrage intitulé : *Les machines marines et les propulseurs à l'Exposition universelle de 1867*, par plusieurs mécaniciens principaux de la marine, Paris, 1868, on lit page 69 : « Sur les vaisseaux le *Jean-Bart* et l'*Austerlitz*, l'usine d'Indret avait placé, au rond-point des quatre chaudières formant l'appareil évaporatoire de ces vaisseaux, un coffre à vapeur commun aux quatre corps et situé à la base de la cheminée. Ce coffre était divisé en quatre compartiments étanches, communiquant chacun avec un corps de chaudière distinct par une tubulure et les quatre compartiments versaient leur vapeur dans une boîte en fonte contenant les soupapes d'arrêt. De cette manière, on pouvait à volonté isoler une partie de l'appareil, sans qu'il en résultât d'inconvénient. Il ne manquait au coffre supplémentaire qu'un plus grand développement de surface de chauffe pour avoir toutes les qualités d'un surchauffeur. » Les machines de ces vaisseaux avaient été faites de 1853 à 1854, mais les générateurs du vaisseau le *Napoléon*, construits à Indret en 1850-51, avaient déjà la même disposition.

C'est probablement cette idée qui conduisit rapidement à l'emploi des *tubes sécheurs* sur les chaudières de la marine française. On trouve dans le *Guide du chauffeur*, de Grouvelle et Jaunez, édition de 1858, la description des chaudières construites à Indret pour la marine impériale et munies de tubes sécheurs (*fig. 139*) que la vapeur traversait pour se rendre aux cylindres. Ainsi, les chaudières de l'*Alexandre*, de 800 ch nominaux et 1 285 m² de surface de chauffe, avaient 198 tubes sécheurs de 0,15 m de diamètre et 0,65 m de longueur, soit une surface collective de chauffage de 60 m² ou 5 0/0 environ de la surface de chauffe. Comme, dit l'ouvrage que nous venons de citer, ces tubes étaient chauffés à 400 degrés, l'eau entraînée se trouve vaporisée et la vapeur parfaitement desséchée et surchauffée, ce qui augmente beaucoup la puissance motrice.

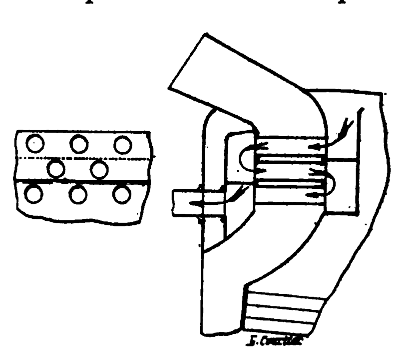
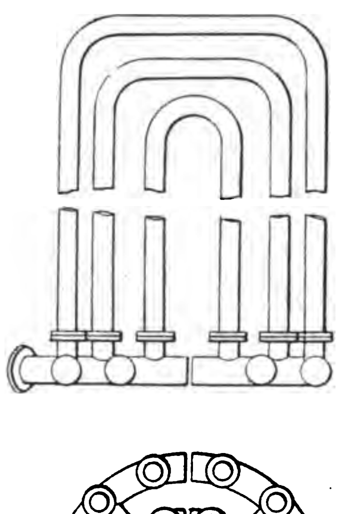


Fig. 139. — Tubes sécheurs d'Indret (1855-1856).

Les premiers essais de l'*Alexandre* ont eu lieu au mois de septembre 1856, c'est-à-dire fort peu de temps après ceux du *Black*

Eagle en Angleterre (février 1856). Les chaudières du *Masséna* et du *Castiglione* avaient la même disposition. L'ouvrage de Grouvelle et Jaunez ajoute que : « ces dispositions, si ingénieuses et bonnes qu'elles soient, sont très compliquées et difficiles à monter et à réparer; aussi a-t-on renoncé à ce système pour en étudier un autre pouvant se démonter et se remplacer en cas de réparations ». En effet, on a bien vite renoncé aux tubes sécheurs faisant partie intégrante de la chaudière pour leur substituer des surchauffeurs indépendants communiquant avec la chaudière par des tuyaux et pouvant en être séparés facilement.



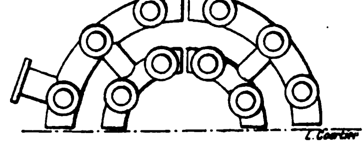


Fig. 140. — Surchauffeur Delafond (1858).

Ces appareils paraissent avoir été placés d'abord sur le vaisseau mixte de 450 ch nominaux, le *Fontenoy*, la frégate cuirassée la *Gloire* et le yacht impérial la *Reine-Hortense* (ancien *Comte-d'Eu*) de 320 ch. C'étaient, au moins sur le premier, des surchauffeurs Delafond, formé de tubes en fer en forme d'U *(fig. 140)*, montés sur des couronnes en fonte et placés à la base de la cheminée. Ces appareils avaient 0,185 m² de surface par cheval nominal, soit sensiblement 0,06 par cheval indiqué sur les pistons.

Sur le *Fontenoy*, on avait, paraît-il, disposé le tuyautage de manière qu'au moyen d'un registre, il était facile de faire passer instantanément la vapeur hors du surchauffeur pour abaisser aussitôt la température et même de mélanger les vapeurs sèche et humide de manière à obtenir la température désirée à l'entrée dans les cylindres. Il semble y avoir là quelque chose du système Wethered et il est permis de se demander si l'inventeur américain ne serait pas intervenu dans une certaine mesure dans ces applications qui paraissent remonter à 1857 ou 1858.

L'amiral Paris, dans son ouvrage l'*Art naval à l'Exposition de*

Londres en 1862 (étant capitaine de vaisseau, il avait commandé le *Fontenoy*), donne les chiffres suivants, que nous croyons intéressant de reproduire ici :

	Surface du surchauffeur.	Rapport à la surface de grille.	Surchauffe obtenue.
	—	—	—
Fontenoy	72 m²	2,75	43 degrés
Gloire	167 —	2,83	43 —
Reine-Hortense. . . .	58 —	3,05	40 —

Voici, d'après la même source, les résultats obtenus sur le *Fontenoy*, marchant à diverses allures :

			Avec une chaudière.	Avec deux chaudières.	Avec quatre chaudières.
			—	—	—
Puissance indiquée	Sans surchauffe.	ch	206	531	1 092
	Avec —	—	382	629	1 214
Charbon brûlé par cheval indiqué	Sans surchauffe.	kg	2,512	2,077	1,981
	Avec —	—	1,638	1,688	1,701

On a donc réalisé une économie de combustible de 35 0/0 avec une chaudière, de 20 0/0 avec deux et de 14 0/0 avec quatre chaudières; l'économie croissait donc avec la détente, ce qui prouve bien que l'avantage de la surchauffe se trouve surtout pour la faible introduction.

Le surchauffeur Delafond fut adopté par la Compagnie Touache, de Marseille, pour tous ses bateaux; l'ouvrage que nous venons de citer, écrit en 1863, dit que deux des paquebots de cette Compagnie, le *Zouave* et l'*Oasis*, avaient déjà à cette époque fait un long service avec la surchauffe qui produisait une économie de près de 30 0/0, tout en faisant filer au navire au moins un nœud de plus. Dès 1861 ou 1862, la marine impériale avait un surchauffeur réglementaire pour les bâtiments de la flotte : c'était un appareil à lames verticales placé à la base de la cheminée. Tous les navires portant des machines à trois cylindres du type Dupuy-de-Lôme furent munis de surchauffeurs. On en trouvait sur beaucoup de paquebots des Messageries Impériales et sur les paquebots de la Compagnie Générale Transatlantique *Pereire* et *Ville-de-Paris*, construits en 1865.

Les surchauffeurs marins ont eu beaucoup de formes différentes; on peut les diviser toutefois en deux classes distinctes : ceux qui emploient la chaleur directe du foyer ou des tubes et

ceux qui ne se servent que de la chaleur perdue. Nous citerons parmi les premiers : l'appareil primitif de Wethered, employé sur le *Joseph Johnson* en 1854 et décrit plus haut; le système de

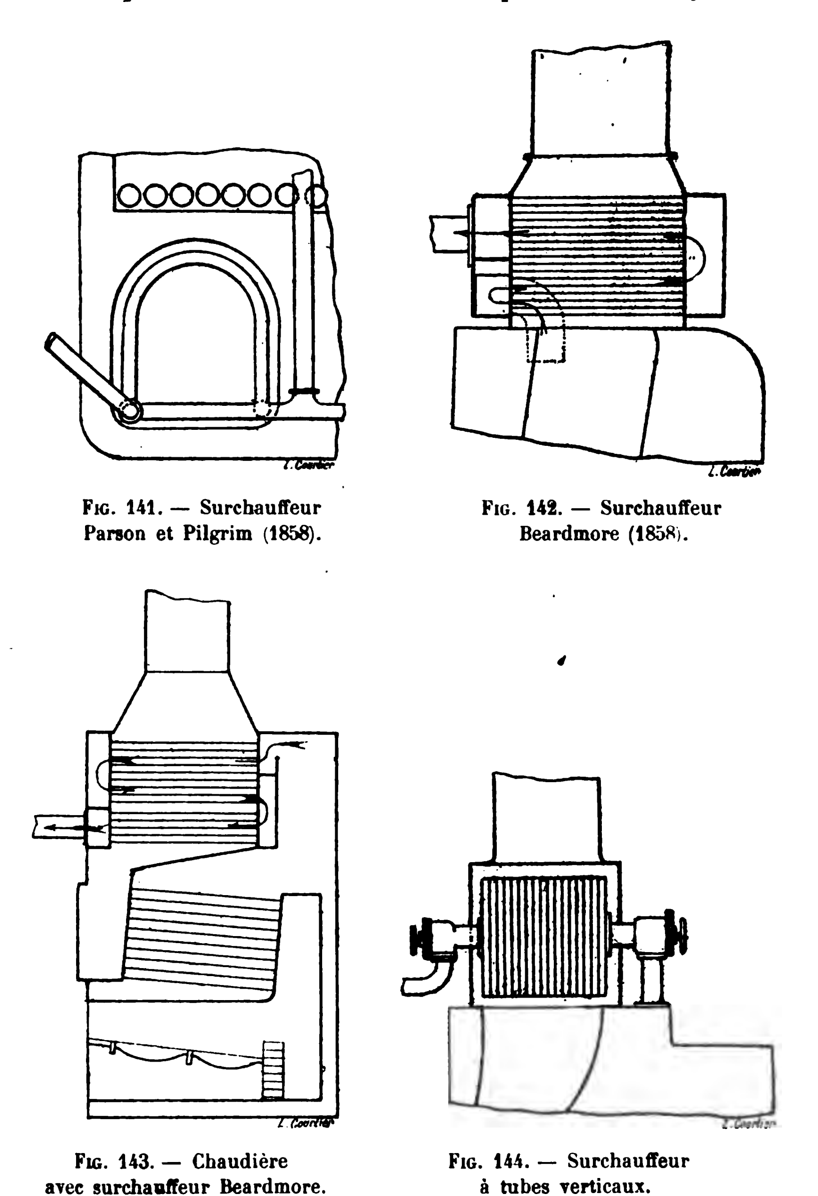


Fig. 141. — Surchauffeur Parson et Pilgrim (1858).

Fig. 142. — Surchauffeur Beardmore (1858).

Fig. 143. — Chaudière avec surchauffeur Beardmore.

Fig. 144. — Surchauffeur à tubes verticaux.

Parson et Pilgrim, placé dans les foyers *(fig. 141)*, qui doit être à peu près le dispositif employé sur le malheureux *Arctic*. Dans les

seconds on trouve : les tubes sécheurs d'Indret déjà décrits ; le surchauffeur à tubes horizontaux de Beardmore *(fig. 142)* avec sa disposition sur la chaudière *(fig. 143)*; les surchauffeurs à tubes verticaux *(fig. 144)* placés à la base de la cheminée; les surchauffeurs à lames et le système Patridge breveté en France à la date du 10 juin 1858 *(fig. 145)* et composé de tubes placés en prolongement de ceux de la chaudière et traversant une sorte de coffre mince placé dans la boîte à fumée. Nous reparlerons plus loin et à un autre point de vue de ce dispositif.

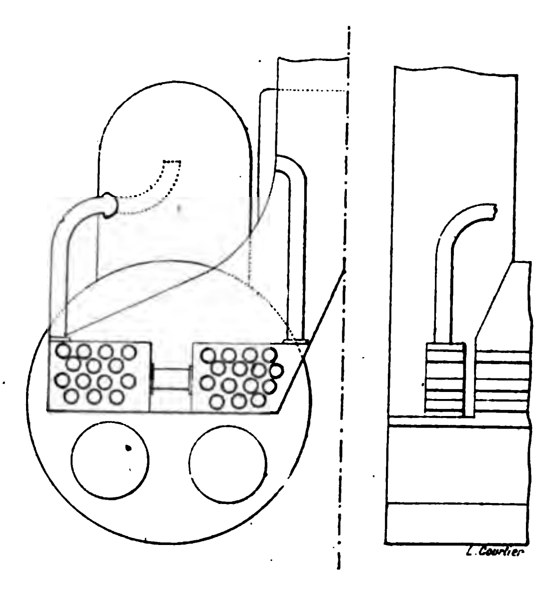


Fig. 145. — Surchauffeur Patridge (1858).

Nous dirons seulement que Nursey, dans sa communication sur la surchauffe devant la *Society of Engineers* en 1861, décrit cet arrangement sous le nom de Butlin en indiquant qu'il peut servir également comme réchauffeur d'eau d'alimentation. Il ajoute que ce surchauffeur a été monté sur le navire français la *Ville-de-Nantes*.

On rencontrait aux États-Unis des exemples de surchauffeurs à chauffage direct et indépendant, système que nous ne croyons pas avoir jamais été employé en Europe. Ces surchauffeurs sont ceux du navire de guerre américain le *Wampanoag* et de deux autres à noms non moins difficiles à prononcer par des bouches européennes, l'*Ammonoosac* et le *Nirhamiany*.

Ces navires, de grande puissance, avaient chacun huit chau-

dières à tubes d'eau du type Martin de 2632 m² de surface de chauffe collective et de 104,80 m² de surface de grilles. La vapeur produite était surchauffée dans quatre surchauffeurs à chauffage indépendant ayant ensemble 265 m² de surface, soit 1/10e de la surface de chauffe.

Cette application remonte à 1864. Disons en passant que ces énormes machines, dont le succès fut d'ailleurs des plus médiocres, présentaient des détails de construction très curieux; ainsi la poussée de l'hélice était reçue par une butée constituée par une série de billes d'acier comprises entre deux disques portant des chemins de roulement pour ces billes.

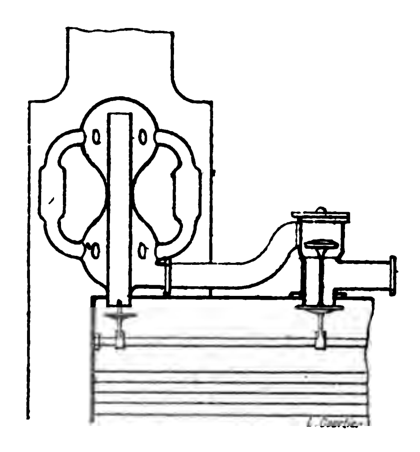


Fig. 146. — Surchauffeur Jaffrey.

On peut citer, comme exemple intéressant, le surchauffeur en fonte de Jaffrey *(fig. 146)*, très employé à une certaine époque sur les navires construits sur la Tyne. On remarquera une disposition de clapets qui permet d'employer à volonté la vapeur saturée ou la vapeur surchauffée.

Nous ne saurions, pendant que nous sommes sur le chapitre de la surchauffe, oublier de mentionner que, pour éviter les inconvénients signalés plus haut et limiter, d'une manière sûre et certaine, la température de la vapeur surchauffée, B. Normand avait proposé (brevet du 9 mars 1860) d'opérer la surchauffe, non plus par les gaz de la combustion, mais par de la vapeur à haute pression. A cet effet, il se servait d'une petite chaudière à foyer indépendant et ayant, disposé dans la chambre de vapeur un faisceau tubulaire traversé par la vapeur à surchauffer, faisceau baigné à l'extérieur par de la vapeur à 9 à 10 kg de pression pouvant, par conséquent, donner à de la vapeur à basse pression, une surchauffe de 50 à 60 degrés centigrades; la vapeur condensée au contact des tubes retombait dans la petite chaudière qui n'avait pas besoin d'être alimentée : c'était une sorte de surchauffe *au bain-marie*.

Normand appliqua ce système sur la machine à basse pression du remorqueur *l'Alcide* du port du Havre, avec, paraît-il, de très

bons résultats. On ne peut pas dire, toutefois, que cette méthode fût absolument neuve, car, à la date du 30 janvier 1851, Nicolas Raffard, ce travailleur aussi modeste que méritant, avait pris un brevet pour un sécheur ou surchauffeur de vapeur détendue. Dans ce système, la vapeur saturée, après avoir été détendue au degré voulu par un détendeur, se séchait et même se surchauffait, en circulant dans des tubes plongés dans la chaudière, avant de se rendre aux cylindres de la machine. Nous ne croyons pas que Raffard ait mis en pratique ce dispositif qui a été maintes fois proposé depuis; l'exemple du surchauffeur de *l'Alcide* est resté unique; il est vrai qu'avec ce système on ne dispose que d'une surchauffe très limitée, sauf pour des machines à basse pression.

En présence des faits que nous venons de signaler et qui paraissent inconnus de bien des gens et même d'Ingénieurs, il est une question qui se pose tout naturellement. Comment se fait-il que de procédés qui eurent un si grand succès en pratique et un développement aussi considérable il ne reste plus que le souvenir et encore? Voici ce qu'on peut répondre.

A côté de ses avantages mis hors de toute contestation par une expérience prolongée, la surchauffe présentait des inconvénients réels dont les principaux étaient : un maniement délicat et une usure rapide des appareils. Un défaut de surveillance dans la conduite des chaudières pouvait amener très vite des avaries sérieuses dans les machines tant par la combustion des matières grasses et les grippements consécutifs des tiroirs et pistons que par l'introduction dans les cylindres de parcelles d'oxyde provenant des surchauffeurs; de plus, la durée de ces appareils était relativement faible. On avait bien essayé l'emploi du cuivre pour éviter l'oxydation du fer, mais ce métal ne résistait pas à l'action de la suie.

On tolérait ces inconvénients en présence des avantages indiscutables de la surchauffe dans des machines où la pression ne dépassait pas sensiblement 2,75 kg absolus correspondant à une température de 130 degrés; en chauffant la vapeur à 180 degrés, on pouvait réaliser une surchauffe de 50 degrés susceptible de donner de bons résultats. Mais, lorsque l'adoption de plus en plus générale de la condensation par surface est venue permettre l'introduction de pressions qui ne se trouvaient plus limitées que par la résistance des chaudières, résistance qui trouva un précieux auxiliaire dans l'emploi de l'acier, la marge de la sur-

chauffe se trouva de plus en plus réduite au point de devenir insuffisante.

D'ailleurs, d'autres perfectionnements, tels que les enveloppes de vapeur et surtout l'expansion multiple, firent à ce moment leur entrée dans la lice et se montrèrent aptes à réaliser, d'une manière simple et sans danger, les avantages que donnait la surchauffe au prix d'inconvénients réels; la dernière surtout se montra une dangereuse rivale en ce qu'elle présentait, en outre, des qualités particulières et éminemment avantageuses, telles que la plus grande régularité des efforts sur le mécanisme, qualités des plus précieuses pour la marine au point de vue du travail des gros arbres et auxquelles la surchauffe était absolument étrangère. On conçoit donc que celle-ci ait dû céder la place à ce moment.

Elle a, en effet, après une douzaine d'années d'application très étendue, disparu à peu près complètement de la marine un peu après 1870, c'est-à-dire à partir de l'époque où les machines compound à haute pression se sont répandues. A terre, où son usage avait été infiniment plus restreint, il en a été de même pour d'autres raisons; ainsi, dès 1875, il n'existait plus guère, croyons-nous, en Alsace, d'autre machine à vapeur surchauffée que le légendaire moteur du Logelbach. Les rapports de l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur sont muets sur la question de la surchauffe jusqu'en 1891 où, dans le rapport sur l'exercice 1890 de l'Ingénieur en chef de l'Association, le regretté Walther-Meunier, se lit cette phrase (*Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, 1891, page 254) : « L'année qui vient de s'écouler doit être signalée dans notre région par la reprise de la question de la surchauffe de la vapeur, conséquence du renchérissement, et, disons-le, de la mauvaise qualité des houilles à l'emploi desquelles notre industrie se voit forcée... Nous savons tous que notre éminent et regretté compatriote Hirn a été un des premiers à reconnaître les avantages de la surchauffe et qu'il a établi des appareils qui fonctionnent encore d'une manière satisfaisante après plus de trente ans de service... Nous nous demandons pourquoi les applications de la surchauffe n'ont pas été plus nombreuses malgré leur succès et nous croyons que cela tient à plusieurs causes... »

Walther-Meunier donne ensuite la description de divers types de surchauffeurs et termine par des conclusions qu'on trouverait aujourd'hui très timides : « L'emploi de la surchauffe se

recommande partout où l'on se trouve en présence de chaudières en nombre insuffisant et, par suite, à allure forcée. » Il est bon de faire observer que, dans les applications dont il est ici question, la température de la vapeur surchauffée ne dépassait pas 250 à 270 degrés.

Il est intéressant de rapprocher les idées exprimées en 1891 par Walther-Meunier sur l'utilité de la surchauffe pour des générateurs insuffisants de l'opinion émise vingt-cinq ans avant par J. Scott-Russell.

Cet Ingénieur, dans un ouvrage intitulé *The Modern System of Naval Architecturé*, Londres, 1865, page 486, s'exprime ainsi : « J'avoue que je préfère une bonne chaudière sans surchauffeur à une mauvaise munie d'un appareil de ce genre, mais il y a des cas, par exemple dans certains types de canonnières à faible tirant d'eau, où on ne peut pas établir les chaudières dans de bonnes conditions, et alors l'emploi d'un surchauffeur peut être avantageux. » Cetfe citation prouve bien qu'en 1865 la véritable action de la surchauffe, telle qu'elle avait été établie neuf ans auparavant par Hirn, n'était pas encore connue des constructeurs anglais les plus éminents.

On voit surgir à cette époque quantité de systèmes de surchauffeurs tels que ceux de : Gehre, Hering, Schwoerer, Uhler, Schmidt, etc., dont quelques-uns se rapprochent plus ou moins des modèles d'il y a cinquante ans. Ces appareils ont été appliqués à de puissantes machines en Alsace et en Allemagne, surtout en Westphalie et en Bavière.

M. Wilhelm Schmidt a réalisé vers 1893 l'emploi de la surchauffe avec des températures bien plus élevées que celles qu'on avait employées jusque-là et atteignant 300 à 340 degrés à l'entrée de la machine. Ces températures exigent des dispositifs spéciaux de distributeurs et un graissage très soigné avec des matières appropriées. M. Schmidt a eu le mérite de faire voir qu'on pouvait, sur de petites machines, par exemple de moins de 50 ch, réaliser des consommations de 1 kg, et même moins, de combustible par cheval-heure. Nous croyons de toute justice de rappeler que des constatations analogues avaient été faites déjà plusieurs années auparavant sur de petites machines alimentées avec de la vapeur provenant de générateurs Serpollet, laquelle était à une température fort élevée par suite de son mode de génération.

Aujourd'hui la surchauffe est très en honneur dans les machines à vapeur et est venue leur fournir un puissant appui dans

leur lutte contre le moteur à combustion intérieure. Elle est employée soit sur les moteurs alternatifs, soit sur les moteurs à turbines où son mode d'action est différent. En effet, la vapeur surchauffée, dans les premiers, agit surtout en réduisant dans une grande mesure l'action des parois, tandis que, dans les autres, où cette action n'existe pas, elle opère par l'augmentation du volume de la vapeur et par la réduction des résistances dans les passages.

Il ne paraît pas que jusqu'ici la surchauffe soit employée d'une manière étendue à la mer bien qu'elle donne de très bons résultats dans la navigation intérieure, par exemple sur les fleuves allemands et les lacs suisses. Mais son emploi se développe rapidement sur les locomotives, ce qui nous engage à traiter de cette application dans un chapitre spécial.

Chapitre X.

Emploi de la vapeur surchauffée sur les locomotives.

La première indication relative à l'emploi de la vapeur surchauffée dans une locomotive est due, comme nous l'avons dit plus haut, à John Hawthorn, dont il existe un brevet français d'importation daté du 14 septembre 1840. Ce brevet décrit plusieurs dispositions pour obtenir la surchauffe de la vapeur; la

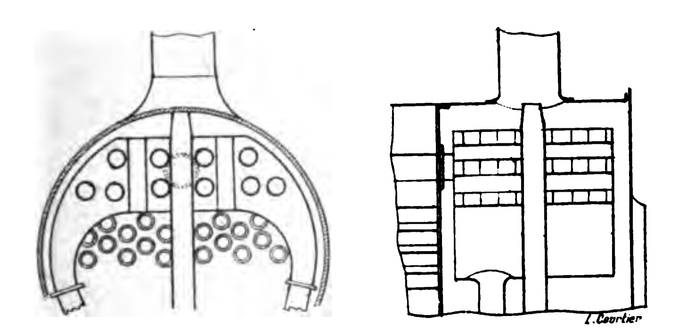


Fig. 147. — Surchauffeur Hawthorn (1840).

plus intéressante *(fig. 147)* consiste en une boîte placée à la partie supérieure de la boîte à fumée dans laquelle la vapeur passe

pour se rendre de la chaudière aux cylindres et qui est traversée per une série de tubes verticaux et horizontaux pour le passage des gaz chauds allant des tubes à la cheminée. On a fait, vingt ans plus tard, des surchauffeurs qui ressemblaient beaucoup à celui-là.

Dans la discussion qui eut lieu à l'*Institution of Civil Engineers*, dans la séance du 27 mars 1860, sur la surchauffe, un des membres présents a parlé de locomotives qui auraient été munies de surchauffeurs quinze ans auparavant, ce qui voudrait dire vers 1845, sur le *Great Western*, et ajoutait que cet essai n'avait pas réussi. Il nous paraît très probable qu'il s'agit là des surchauffeurs d'Hawthorn.

Moncheuil a, comme on l'a déjà vu, indiqué à la date du

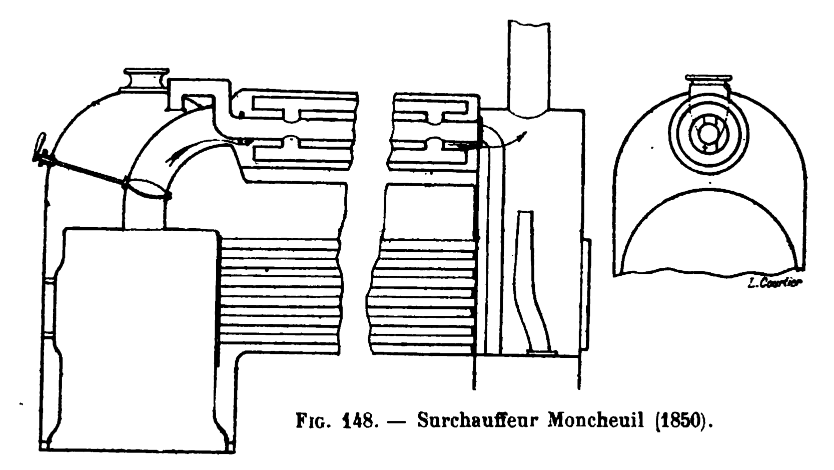
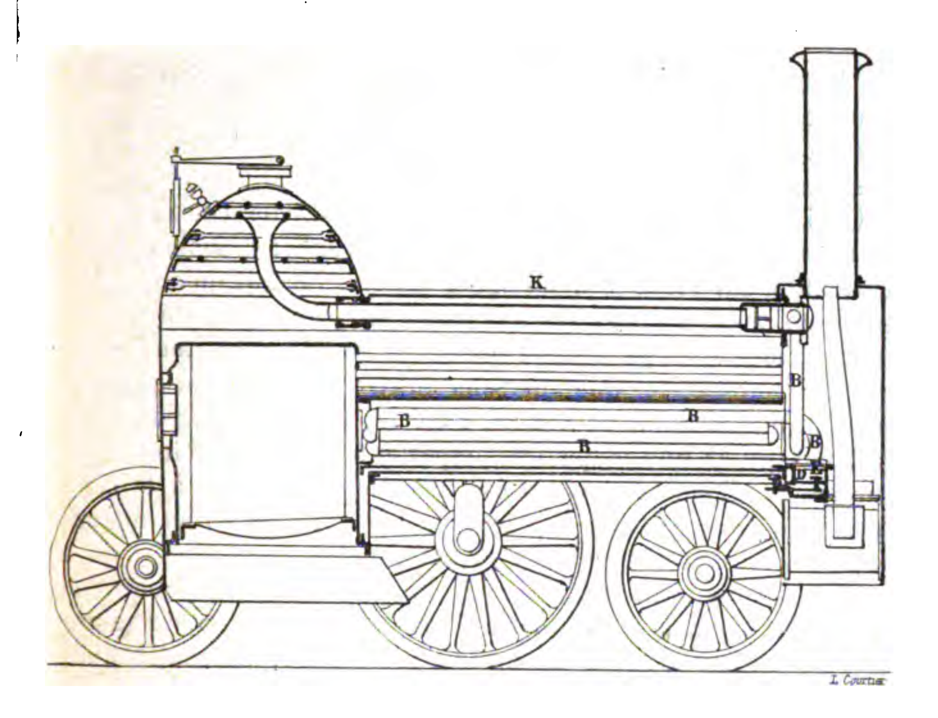


Fig. 148. — Surchauffeur Moncheuil (1850).

29 juin 1850, dans un certificat d'addition au brevet de de Quillacq du 3 juillet 1849, des dispositions de surchauffeurs s'appliquant plus particulièrement aux locomotives; dans l'une *(fig. 148)*, un gros conduit, muni d'un registre, prend une partie des gaz chauds dans le foyer même et les fait passer dans un cylindre horizontal placé au-dessus du corps cylindrique où ils chauffent la vapeur avant de passer à la cheminée. Dans une autre disposition *(fig. 149)*, un gros tube se trouve dans la partie inférieure du corps cylindrique et contient un tube replié plusieurs fois sur lui-même et dans lequel circule la vapeur à surchauffer. Comme variante, ce tube unique peut être remplacé par quatre tubes plus petits contenant également des tubes de surchauffe. Cette disposition est à signaler parce qu'elle est identique, en principe, au surchauffeur Schmidt aujourd'hui si employé sur



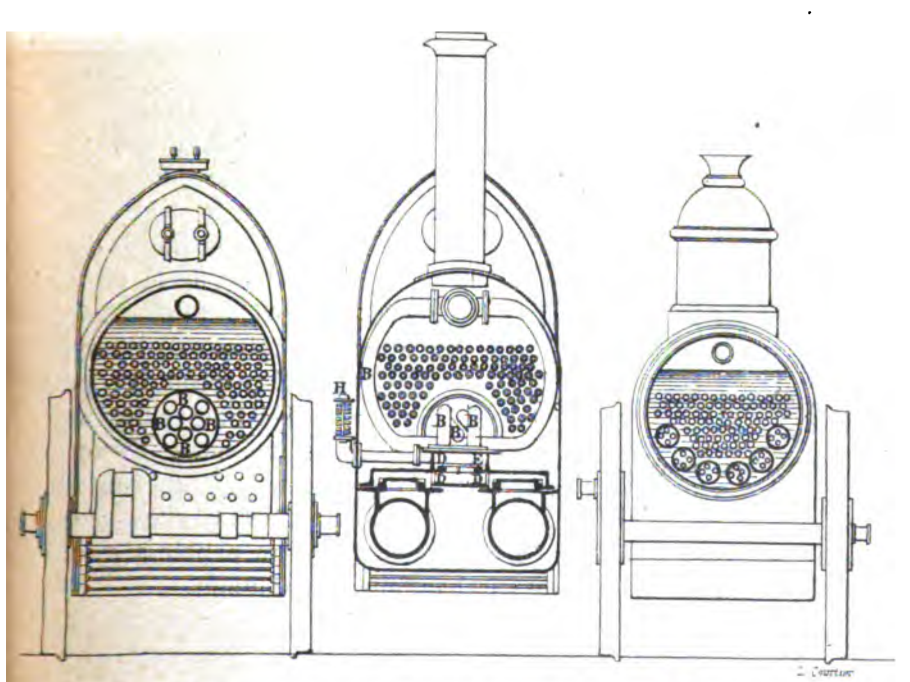


FIG. 149. — Surchauffeur dans les tubes à fumée breveté par Moncheuil en 1850.

les locomotives. De Quillacq et Moncheuil firent beaucoup de démarches pour réaliser un essai de surchauffage de la vapeur sur une locomotive du Chemin de fer de Lyon, mais il ne semble pas que leurs efforts aient abouti.

Quoi qu'il en soit, le brevet de Moncheuil mérite d'être signalé et nous sommes heureux d'avoir été le premier à avoir appelé l'attention sur lui il y a quelques années. Le fait qu'on avait proposé, dès 1850, soit six ans avant les travaux de Hirn, un surchauffeur assez parfait pour qu'on ait pu cinquante ans plus tard l'introduire, tel quel et sans autres changements que de légères modifications de détails, dans les locomotives, nous paraît constituer une étape très importante dans l'histoire de la surchauffe. Nous ne croyons pas manquer de respect à la mémoire de Hirn en trouvant le brevet de Moncheuil au moins aussi intéressant que celui du savant alsacien.

Un peu plus tard, Mac Connell, Ingénieur de la traction du chemin de fer *London and North Western*, à Wolverton, imagina une disposition de surchauffeur pour locomotive, disposition que nous trouvons décrite dans un brevet français d'importation à la date du 7 août 1852; elle consiste en une boîte plate placée dans la boîte à fumée et contenant des bouts de tubes correspondant aux tubes de la chaudière; dans ces bouts de tubes *(fig. 150)* passent les gaz chauds, tandis que la vapeur venant de la chaudière circule autour avant d'aller aux cylindres; ce système a été reproduit par Butlin et Patridge cinq ans après, comme nous l'avons indiqué. Les locomotives du *London and North Western*, dont parlait en 1855 l'*Illustrated London News*, dans un article signalé par Hirn, étaient munies du surchauffeur Mac Connell.

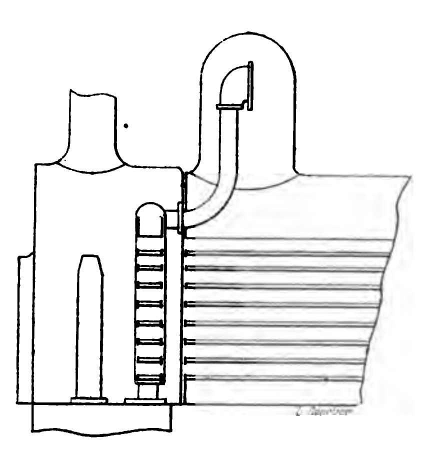


FIG. 150. — Surchauffeur de Mac Connell (1852).

Nous trouvons dans le *Practical Mechanic's Journal*, volume VI, 1853-1854, une description des locomotives Mac Connell auxquelles avait été adapté le surchauffeur dit *smoke box steam heater*. Contrairement à ce qui est indiqué dans le brevet, la boîte plate

n'occupe pas toute la section de la boîte à fumée, elle n'a que 0,305 m de largeur et forme seulement un tuyau aplati conduisant la vapeur aux cylindres. Sa surface n'aurait ainsi pas plus de 1,20 m², ce qui, pour une surface de chauffe de 110 m² serait insignifiant et ne donnerait pas de surchauffe appréciable, tout au plus un certain effet de séchage de la vapeur. Ces locomotives pesaient 31 t en service, elles avaient des roues motrices de 2,21 m de diamètre et réalisaient une vitesse maxima de 84 km à l'heure.

L'indication que nous avons donnée plus haut de l'accroissement de force élastique de la vapeur attribuée par l'*Illustrated London News* à l'action de la surchauffe paraît provenir de l'inventeur lui-même, car dans le brevet de Mac Connell on trouve cette phrase : « La vapeur acquiert une grande force élastique étant ainsi chauffée en dehors de l'eau qui l'a produite, et cela par une quantité de chaleur qui autrement aurait été perdue. »

Vers 1857, on voyait certaines locomotives du chemin de fer du Nord, notamment les Engerth à marchandises, portant à la base de la cheminée une boîte cylindrique en fonte à double paroi dans la partie annulaire de laquelle circulait la vapeur allant du régulateur aux cylindres. Cet appareil avait-il quelque prétention à jouer tout au moins le rôle de sècheur de vapeur? Sa surface chauffante atteignait à peine le tiers d'un mètre carré. Nous citons ce fait à titre de simple renseignement.

En 1860, J. Martin installa, dans les ateliers de Toronto, des surchauffeurs sur plusieurs locomotives du *Grand Trunk R. R.* Il y avait deux appareils par machine et chacun consistait en un corps cylindrique de 0,40 m de diamètre et 0,75 m de hauteur traversé par un certain nombre de tubes; ces corps étaient placés dans la boîte à fumée, un de chaque côté, dans une direction oblique, la partie inférieure plus près de la plaque tubulaire que la partie supérieure. Cette dernière était coiffée d'une sorte de capuchon formant boîte à fumée et débouchant à la base de la cheminée. Ces corps portaient chacun deux tubulures, celle du haut se raccordant au tuyau de vapeur venant du régulateur et celle du bas allant rejoindre la boîte à tiroir du cylindre du côté correspondant. On comprend dès lors que, sous l'aspiration de la cheminée, les gaz chauds sortant des tubes de la chaudière pénétraient dans les surchauffeurs et allaient à la cheminée en surchauffant la vapeur passant dans les corps autour des tubes.

Nous empruntons à l'*Engineer*, volume II de 1861, page 200, le dessin *(fig. 151)* et le tableau des résultats obtenus sur un

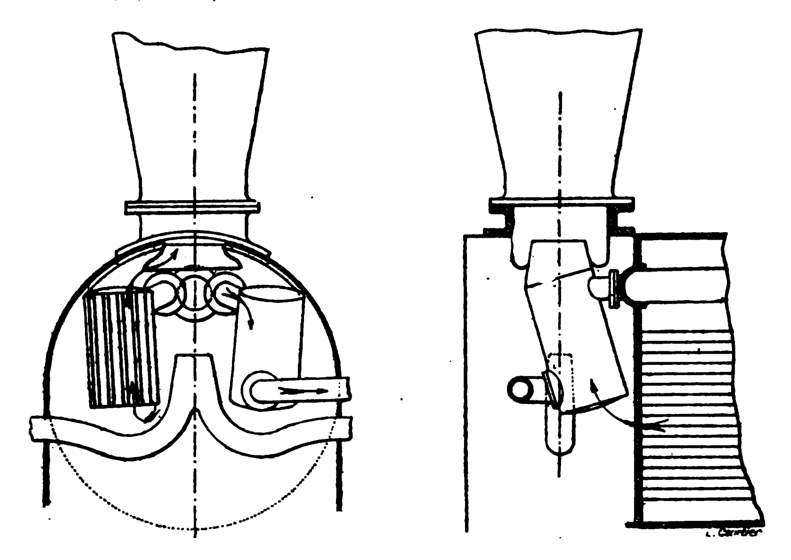


Fig. 151. — Surchauffeur Martin (1860).

certain nombre de locomotives à voyageurs et à marchandises du *Grand Trunk R. R.* dans l'année 1860.

SANS SURCHAUFFEURS				AVEC SURCHAUFFEURS			
Années	Numéros des locomotives	Wagons remorqués	Bois brûlé par mille	Années	Numéros des locomotives	Wagons remorqués	Bois brûlé par mille
			Machines à voyageurs.				
1860	199	5,4	2,66	1861	199	5,4	2,29
»	99	3,7	1,57	«	99	3,8	1,22
»	95	5,7	1,58	»	95	3,6	1,22
»	94	3,5	1,50	»	94	3,7	0,95
»	65	4,6	1,96	»	65	5,0	1,68
			Machines à marchandises.				
1860	158	12,4	2,58	1861	159	16,4	1,96
»	152	15,8	2,65	»	202	12,7	2,29
»	201	7,8	2,34	»	—	—	—

Il est dit dans l'article du journal anglais que l'économie de combustible s'est élevée à 20 à 30 0/0. Ce chiffre élevé ne s'expliquerait que par la supposition que les gaz arrivaient à la cheminée à une température excessive et que la vapeur entraînait avec elle une forte proportion d'eau. Le surchauffeur agissait dès lors en augmentant la production de la vapeur sans que la surchauffe proprement dite jouât un rôle bien sérieux dans l'économie de combustible réalisée. C'était un procédé d'amélioration d'une chaudière défectueuse.

Un modèle du surchauffeur Martin figurait à l'Exposition de Londres en 1862, et une note de l'inventeur indiquait que ses appareils étaient alors employés sur une trentaine de locomotives du *Grand Trunk R. R.* A partir de ce moment, on ne trouve plus aucun renseignement sur ce système qui a dû être abandonné pour une cause ou pour une autre.

On trouve dans une note de Thurston sur la surchauffe parue dans le volume XVII, année 1896, de l'*American Society of Mechanical Engineers*, qu'en 1860 Henry Tyson appliqua la surchauffe à une locomotive du *Baltimore-Ohio R. R.*; le dispositif employé consistait à courber les tubes des rangées supérieures de manière à les mettre dans une partie de leur longueur en contact avec la vapeur et non plus avec l'eau. On ajoute que la surchauffe ainsi obtenue était assez élevée pour amener un grippement rapide des cylindres et pistons. Cela nous paraît bien difficile à admettre car, malgré sa faible conductibilité, il ne semble pas que de la vapeur puisse exister à l'état de surchauffe à quelques centimètres de distance d'une masse d'eau sans que cette vapeur repasse à l'état de saturation.

Dans la même note, Thurston dit que les Wethered essayèrent de placer un surchauffeur dans la boîte à fumée d'une locomotive (l'époque n'est pas indiquée), mais qu'ils ne réussirent pas à donner à la vapeur un degré de surchauffe suffisant.

Le Chemin de fer du Nord français prit à la même époque (4 décembre 1860) un brevet pour un appareil à sécher et surchauffer la vapeur, appareil formé d'un faisceau tubulaire horizontal placé au-dessus de la chaudière et dans lequel passaient les gaz sortant des tubes de celle-ci, tandis que l'extérieur des tubes était baigné par la vapeur se rendant du générateur aux cylindres *(fig. 152)*; la cheminée se trouvait ainsi reportée à l'arrière de la machine.

Ces appareils, qui n'étaient guère que des sécheurs et même

des réservoirs de vapeur, suppléant à la faible capacité réservée à la vapeur dans la chaudière, furent appliqués à un assez grand nombre de locomotives de la Compagnie du Nord; ils ne paraissent pas avoir donné de résultats bien sérieux.

Il est curieux de signaler que, quelques jours avant la date du brevet de la Compagnie du Nord, le 15 novembre 1860, un sieur Gaumont, d'Épernay, prenait un brevet pour une tubulure séchante, très analogue à la précédente, mais placée dans la

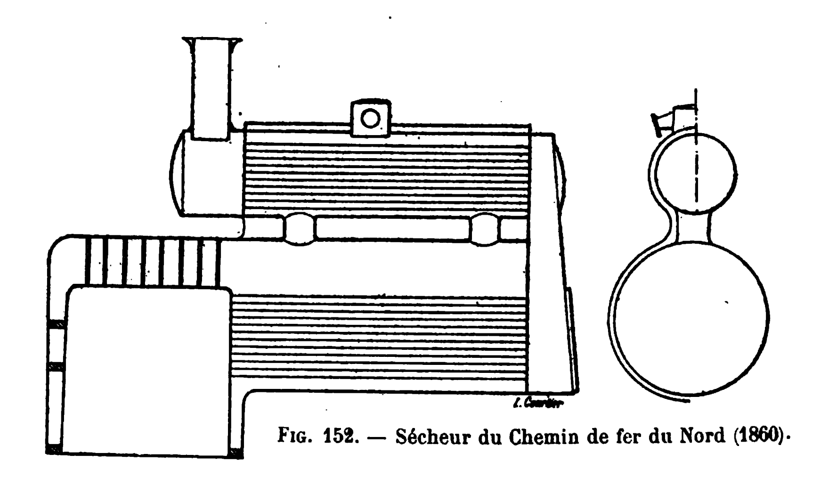


Fig. 152. — Sécheur du Chemin de fer du Nord (1860).

chambre de vapeur de la chaudière; une portion des gaz chauds était prise directement dans le foyer et passait dans cette tubulure pour se rendre à la cheminée. Cette disposition rappelle celle de Moncheuil qui est bien préférable, car il est douteux que la vapeur puisse recevoir une surchauffe appréciable dans la chambre même de vapeur, c'est-à-dire au contact de l'eau qui a produit cette vapeur. Il est vrai que l'inventeur ne se proposait pas de surchauffer la vapeur, mais seulement de la sécher, dominé probablement par la supposition très en cours à l'époque, et d'ailleurs erronée, que la vapeur sortant des chaudières des locomotives contenait des proportions énormes, allant jusqu'à 30 0/0, d'eau entraînée.

En 1869, un Ingénieur allemand, qui fut membre de notre Société, H. B. Hittorf, de Bonn, venu à Paris comme attaché au commissariat prussien à l'Exposition de 1867, publia une intéressante brochure imprimée chez Paul Dupont et intitulée : « Application de la chaleur directe du foyer au séchage et au surchauffage de la vapeur dans les machines locomotives.

L'auteur dit avoir vu en Allemagne des surchauffeurs en fonte chauffés directement par les gaz des hauts fourneaux et dans lesquels passait la vapeur destinée à alimenter les machines soufflantes : un de ces appareils était en service depuis six ans et les frais d'entretien et de réparation étaient à peu près nuls. Ce surchauffeur était formé de tubes placés les uns dans les autres à la manière des tubes Field.

Hittorf dit qu'on doit, pour obtenir une surchauffe sérieuse, recourir à l'emploi de la chaleur directe du foyer ; selon lui, les locomotives sont des machines éminemment propres à admettre l'emploi de la vapeur surchauffée, à cause de la simplicité de leur mécanisme de distribution.

Il propose deux dispositions de surchauffeur : la première

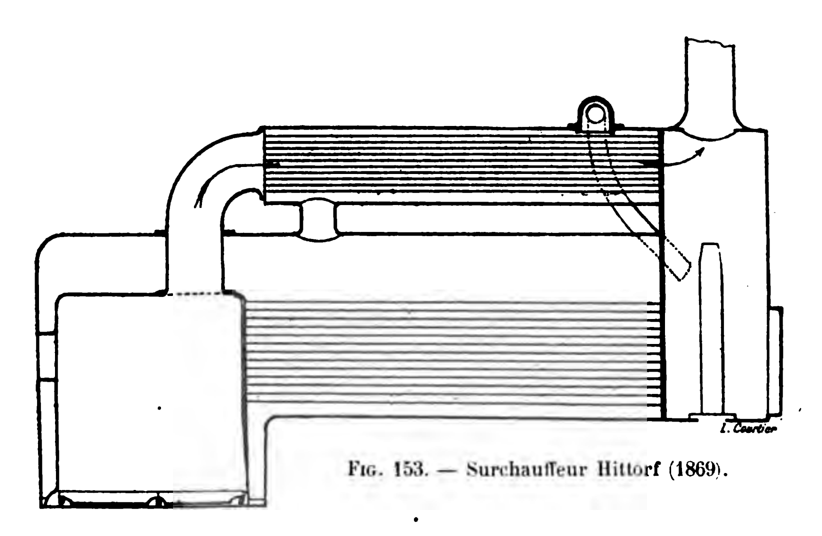


Fig. 153. — Surchauffeur Hittorf (1869).

(fig. 153), comporte un faisceau tubulaire placé au-dessus du corps de la chaudière, comme dans le système du Nord, mais ce faisceau reçoit les gaz, non plus de la boîte à fumée, mais de la boîte à feu ; une partie des gaz du foyer, un dixième approximativement, est distraite pour la surchauffe ; des registres permettent de régler à volonté la prise de gaz et, par conséquent, le degré de surchauffe. Cette disposition est, en principe, la même qu'une de celles proposées par Moncheuil.

Le second dispositif *(fig. 154)* se compose de tubes du genre Field pénétrant verticalement dans le foyer par le ciel; ces tubes sont emmanchés dans la paroi d'une boîte en fonte à deux compartiments dont le supérieur communique avec des tubes plus

petits placés dans les précédents ; la circulation de la vapeur à surchauffer s'établit ainsi. Il y a dix tubes de 100 mm de diamètre plongeant de 0,30 m dans le foyer ; les tubes intérieurs ont 50 mm de diamètre. On aurait donc une surface de surchauffe de 0,94 m², ce qui est tout à fait insignifiant. On remarquera que la plaque porte-tubes se relie au reste du ciel du foyer par des espèces de soufflets de manière à permettre la dilatation. Avec la première disposition, le surchauffeur représenté aurait une surface de chauffe de 7,6, ce qui est plus admissible, sans être encore suffisant, car on donne aujourd'hui aux surchauffeurs de locomotives, une surface de 25 à 30 m² et plus. Même en faisant la part de la plus grande puissance des locomotives actuelles par rapport à celles de 1869, on trouvera que les chiffres donnés par Hittorf sont manifestement insuffisants. Le brevet français relatif à ces dispositifs est du 1er avril 1869.

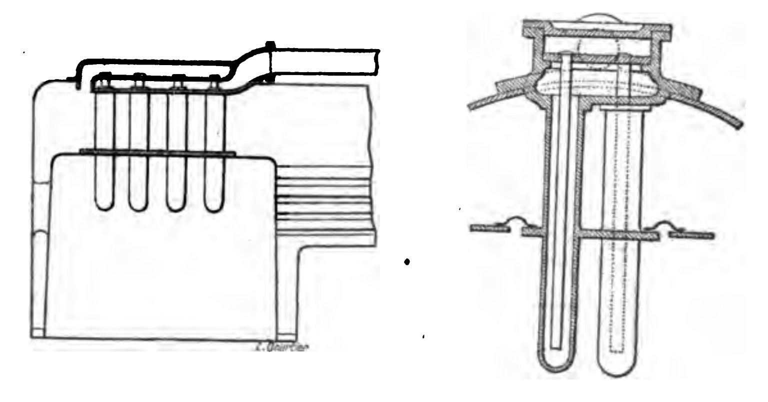


Fig. 154. — Autre disposition de surchauffeur par Hittorf (1869).

Nous croyons savoir que cet Ingénieur fit, dans la première moitié de 1870, des démarches auprès d'une grande maison de construction de machines de Paris pour tâcher de faire essayer son système par un chemin de fer, mais on était encore sous l'impression des médiocres résultats des appareils du Nord et la date ci-dessus indique suffisamment que les esprits étaient portés à se préoccuper d'autre chose que des perfectionnements des locomotives.

Il ne semble pas qu'il ait été depuis rien tenté dans la voie de l'application de la surchauffe à ces machines jusqu'en 1898 où MM. W. Schmidt et Garbe ont repris la question et fait des essais

sur les chemins de fer de l'État prussien, essais à la suite desquels la surchauffe a pris rapidement un développement considérable sur les chemins de fer.

Ainsi, en 1904, M. W. Schmidt avait déjà installé ses surchauffeurs sur 270 locomotives dont 187 en Prusse et en février 1908, il en avait établi 2 728 sur des locomotives appartenant à soixante administrations différentes de chemins de fer. La majorité de ces surchauffeurs étaient du type dit *dans les tubes à fumée* type qui offre la plus grande analogie avec le modèle proposé par Moncheuil en 1850 et représenté sur la figure 149.

On emploie, mais sur une échelle beaucoup moindre, d'autres systèmes, par exemple, ceux de Pielock, de Clench-Gölsdorf qui rappelle beaucoup le type Emorine de 1855, de Cole, de Vaughan-Hosey et de Vauclain, ces trois derniers usités en Amérique.

Chapitre XI.

Surchauffe intermédiaire ou chauffage de la vapeur entre les cylindres d'une machine à double expansion.

La surchauffe intermédiaire, c'est-à-dire le chauffage de la vapeur dans son passage de l'un à l'autre des cylindres d'une machine à double expansion, n'est souvent, au lieu d'une surchauffe proprement dite, qu'un simple séchage de la vapeur amené par la vaporisation des particules d'eau qui se trouvent mélangées à la vapeur, par suite des condensations éprouvées par elle pendant son passage dans le premier cylindre et les divers conduits y attenants. Toutefois, si les moyens de chauffage sont énergiques, il peut y avoir réellement une légère surchauffe. Nous croyons utile de dire ici quelques mots de l'origine de ce procédé.

Il paraît hors de doute que c'est B. Normand qui en a fait le premier l'application vers 1860 et ce dispositif a distingué pendant quelque temps les machines de ce constructeur, mais l'idée en est fort ancienne (1).

On la trouve, en effet, au moins implicitement indiquée, dans

(1) Voir la note F.

un brevet français d'importation en date du 20 novembre 1817, délivré pour des procédés de construction d'un bateau à vapeur au sieur Jernstedt à Dinan (Côtes du Nord). C'est ce Jernstedt, d'origine suédoise, qui amena en 1817 d'Angleterre à Paris un bateau à vapeur dont nous avons dit quelques mots à propos des chaudières.

Ce brevet — qui paraît d'ailleurs être la reproduction française d'une patente anglaise de 1816 délivrée à Richard Wright, le constructeur du bateau *Eagle* dont nous avons parlé précédemment — est fort curieux ; voici ce que le texte de la description dit de la machine proposée par l'inventeur : « Cette machine, de la force de 14 ch, offre de particulier l'emploi de deux cylindres, dont l'un est servi par la seule force expansive de la vapeur et dont l'autre sert à l'évacuation de la vapeur condensée. Ces deux cylindres sont disposés avec des manivelles à angle droit l'une par rapport à l'autre ; cette disposition nécessite qu'il y ait dans la *bouilloire* (chaudière), ou bien au-dessus ou auprès de cette bouilloire, un réservoir pour recevoir la vapeur qui vient du premier cylindre et va au second pendant que les soupapes d'admission à ce dernier sont fermées.

Ces quelques lignes indiquent bien nettement, sauf qu'il n'est pas spécifié que les deux cylindres doivent avoir des volumes différents, la disposition caractéristique d'une machine compound à réservoir, ce réservoir pouvant au besoin être placé dans la chaudière, c'est-à-dire de manière à être chauffé par la vapeur de celle-ci. Il serait intéressant de savoir si ces dispositions étaient appliquées à la machine du bateau amené par Jernstedt à Paris. Malheureusement, le rapport des commissaires de l'Institut, rapport daté du 13 septembre 1819, ne donne à peu près aucun détail sur la disposition de la machine ; il se borne à dire qu'elle est à deux cylindres actionnant des manivelles calées à 90 degrés.

Roentgen — qui, s'il n'était plus, en présence du brevet de Jernstedt, le premier à avoir proposé le réchauffage intermédiaire et la machine compound à réservoir, semble être, au moins, en l'absence de renseignements positifs sur la machine du bateau de 1817, le premier à avoir réalisé la seconde dès 1829, dans son brevet d'importation du 23 juillet 1834 pris sous le nom d'André Koechlin et C[ie], de Mulhausen (*sic*) — dit : « Il est utile (1) d'employer entre les deux cylindres une espèce de

(1) Dans la *Description des Machines et Procédés*, etc., t. LIII, page 315 il y a « il est inutile ». C'est une faute d'impression, car il y a *utile* dans le brevet original.

réservoir de vapeur ; il en résulte moins de secousses et plus de régularité pour le mouvement ; dans ce cas, on pourrait parfois placer ce réservoir dans la cheminée pour profiter de la chaleur de la fumée et élever ainsi la température et la tension de la vapeur ». Dans la patente anglaise du 24 octobre 1834 prise pour la même invention sous le nom d'Ernst Wolff, il y a un détail de plus ; il est ajouté : « Dans le même but, il peut être désirable, dans certains cas, d'avoir un foyer spécial pour réchauffer la vapeur dans le réservoir intermédiaire ». Voilà bien nettement indiqués la surchauffe intermédiaire et les moyens de la produire ; nous ne croyons pas toutefois que Roentgen l'ait réalisée dans aucune des machines compound qu'il a construites depuis 1829.

On trouve, en 1837, une patente anglaise au nom de James Slater pour des machines à expansion multiple avec réservoir intermédiaire constitué par une chaudière à basse pression alimentant le second cylindre.

Un sieur Alexandre Aubujeau, du Havre, prit, à la date du 29 novembre 1841, un brevet français pour un système de machine à vapeur se composant de deux cylindres, un à haute et un à basse pression, avec interposition d'un réservoir à capacité variable dont les agrandissements et rétrécissements successifs se font au milieu d'une certaine quantité de fumée et d'air chaud provenant du foyer, de sorte que la vapeur est maintenue à une haute température dans ce réservoir dont les parois sont en contact avec une partie des produits gazeux de la combustion.

En 1852, Daniel Adamson et Léonard Cooper prirent, en Angleterre, une patente revendiquant l'idée de surchauffer la vapeur dans son passage du cylindre à haute pression au cylindre à basse pression, au moyen de tubes placés dans la boîte à fumée d'une chaudière tubulaire et dans lesquels circule la vapeur.

A la date du 1er mars 1856, un Ingénieur bien connu par des perfectionnements apportés à diverses industries, Dumery, prit un brevet français pour des perfectionnements aux machines à vapeur, brevet où on trouve la proposition de n'opérer la surchauffe de la vapeur qu'après un premier fonctionnement de celle-ci, c'est-à-dire après son travail dans un premier cylindre. L'inventeur dispose de préférence le conduit qui amène la vapeur du petit au grand cylindre en forme de faisceau tubulaire qu'il place dans un carneau où passe la fumée de la chaudière.

B. Normand, dans le brevet du 26 juin 1856, dont nous avons parlé à propos de la condensation par surface, indique la nécessité de purger la vapeur, qui a agi dans le premier cylindre des machines dites *de Woolf*, des parcelles liquides qui se trouvent mélangées à cette vapeur et qui viennent de condensations partielles. A cet effet, il propose de faire passer la vapeur dans son circuit du premier au second cylindre, dans un appareil sécheur basé sur le principe de la force centrifuge et, ajoute-t-il : « Je propose aussi de dessécher cette vapeur dans un appareil spécial et même de la surchauffer légèrement pour prévenir les condensations dans la seconde partie de son travail; ce surchauffement serait effectué dans des tubes chauffés par la vapeur à haute pression, soit dans le réservoir de vapeur de la chaudière elle-même, soit dans une enveloppe spéciale ». Suit ce passage qui est à signaler : « Dans le cas où le surchauffement est opéré directement par les produits de la combustion dans les carneaux de la chaudière ou par un foyer séparé, je propose les dispositions suivantes pour prévenir les inconvénients d'une trop haute température. La vapeur surchauffée se rend à la machine à travers une capacité remplie de lames, toiles métalliques et autres surfaces infusibles et inoxydables aux températures extrêmes que peut avoir acquises la vapeur. Ces surfaces font l'effet d'un réservoir, d'une sorte de volant de chaleur, pour régulariser la température et, rendant leurs variations beaucoup plus lentes, permettent de les corriger. »

On voit que l'inventeur ne revendique pas le principe du réchauffage intermédiaire, mais seulement certaines dispositions pour le réaliser; il paraît aussi considérer comme connu l'emploi pour ce réchauffage des produits de la combustion et même d'un foyer séparé (indiqué déjà par Roentgen) et propose seulement un moyen d'en régulariser l'effet. Il semble bien qu'il y ait là l'idée au moins embryonnaire d'un accumulateur de chaleur. Normand a développé les indications sur les manières d'effectuer le réchauffage intermédiaire dans un brevet du 25 mai 1861, où il décrit l'emploi d'une chaudière à basse pression constituant le réservoir intermédiaire, disposition déjà proposée, comme on l'a vu, en 1837, par James Slater, en Angleterre.

Il est juste de rappeler ici qu'à la date du 11 février 1860 P. Verrier, de Marseille, avait pris un brevet pour une machine à contre-pression à grande détente. Ce titre bizarre désignait

tout simplement une machine à deux cylindres de capacités différentes dont les pistons actionnaient des manivelles à 90 degrés, ce qui n'avait rien de nouveau. L'inventeur ajoutait à cette disposition l'emploi d'un réchauffeur intermédiaire placé sur le générateur et traversé par un faisceau tubulaire dans lequel passaient les produits de la combustion à la sortie des tubes de la chaudière.

Les dates très rapprochées des brevets de Normand et de Verrier portant sur des sujets présentant une complète analogie, on peut dire sur les mêmes points, amenèrent des litiges qui se terminèrent par une association momentanée; on vit, en effet, sur un certain nombre de machines construites vers 1862, figurer la mention « système Normand et Verrier ».

Cette association ne dura que très peu de temps et les deux inventeurs reprirent leur liberté respective, continuant à faire des machines de ce genre chacun de leur côté. La raison en est, croyons-nous, dans le peu de solidité des brevets pris de part et d'autre et primés par des antériorités; cette explication s'étaye sur ce fait que, dès 1862, le Ministère de la Marine fit l'application du système de la double expansion sous la forme de trois cylindres, un à haute et deux à basse pression, avec réservoir intermédiaire réchauffé, d'abord sur le *Loiret* et ensuite sur un grand nombre de navires de la flotte, sans que l'un ou l'autre des inventeurs ait cherché à s'y opposer.

En somme, c'est B. Normand qui a, croyons-nous, été le premier à mettre en pratique le réchauffage intermédiaire; il l'a fait sous trois formes différentes : 1° au moyen d'une chaudière à basse pression, à chauffage indépendant formant réservoir intermédiaire et réparateur d'eau douce, système appliqué sur le *Furet*, l'*Albert*, le *Duguay-Trouin*, de 1860 à 1863; 2° sous forme de capacité contenant un faisceau tubulaire chauffé par la vapeur de la chaudière; c'est la disposition que Normand a le plus employée et qui a longtemps distingué ses machines, et 3° sous forme de tuyaux disposés dans la boite à fumée et dans lesquels circulait la vapeur dans son passage de l'un à l'autre des cylindres. Ce système paraît avoir été employé pour la première fois par l'inventeur sur la *Ville-de-Brest*, en 1869; il l'a été également sur les machines à triple expansion faites par B. Normand; il y avait même deux surchauffeurs, l'un entre le premier et le deuxième cylindre, l'autre entre celui-ci et le troisième. Ce système paraît être moins recommandable. En effet, des Ingé-

nieurs autorisés considèrent que tout obstacle apporté à la circulation de la vapeur entre les deux cylindres d'une machine compound est un inconvénient sérieux et que le bénéfice du réchauffage est nul s'il est acheté au prix d'un accroissement de la résistance au passage de la vapeur à travers un réservoir intermédiaire, formé par des conduits amenant la vapeur de la machine à la boîte à fumée et la ramenant de celle-ci à la machine, conduits ayant un très grand développement. On a donc renoncé rapidement à ce mode de réchauffage et même au réchauffage lui-même, du moins dans les machines marines. On y est revenu depuis quelques années pour les machines de terre, mais les avantages en sont très discutés.

Cette question a fait le sujet de recherches approfondies et de

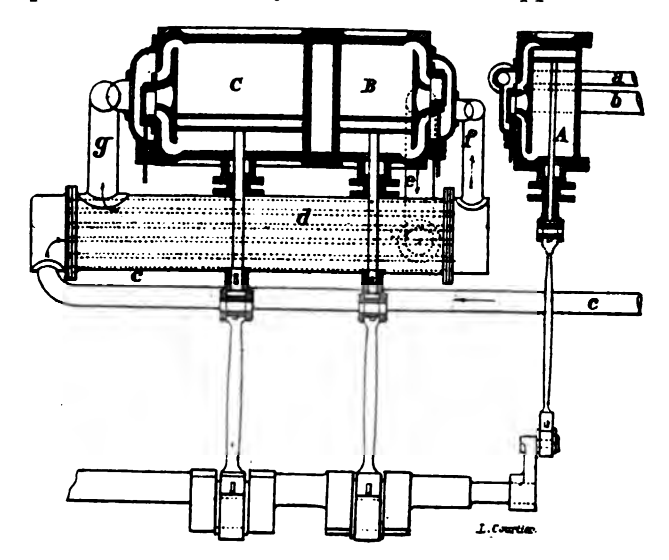


Fig. 155. — Réservoir intermédiaire réchauffé par Wenham (1862).

discussions au sein des Sociétés savantes en Angleterre et en Amérique, sans qu'aucune conclusion bien définie en soit résultée, croyons-nous. C'est bien le cas de dire : *Adhuc sub judice lis est.*

Nous croyons devoir signaler que John Bourne dit avoir employé la surchauffe intermédiaire en 1859. On trouve, en effet, cette indication dans un petit volume publié par cet auteur en 1865, sous le titre : *Recent improvements in the Steam Engine.* Bourne dit, page 85, avoir, en 1859, ajouté dans des bateaux à vapeur dont il ne donne, d'ailleurs, ni le nom ni le port d'attache, deux cylindres à basse pression aux deux cylindres à haute pres-

sion existants et avoir fait passer la vapeur allant des uns aux autres dans des tuyaux chauffés par la fumée et analogue à des surchauffeurs. L'auteur ne donne pas d'autres renseignements sur ce fait dont il paraît être le seul à avoir parlé.

A l'Exposition de Londres en 1862, figurait une machine demi-fixe, du système Wenham, avec deux cylindres de diamètres différents, actionnant des manivelles à 90 degrés, et ayant un réchauffeur intermédiaire placé dans la boîte à fumée et disposé comme celui de Mac Connell avec des tubes en prolongement de ceux de la chaudière. Cette machine, donnant 10 ch au frein avec de la vapeur à 7 kg et marchant sans condensation, ne dépensait que 1,30 kg de charbon par cheval. Une autre machine, du même système, mais donnant 16 ch, dépensait seulement, dit-on, 0,85 kg de combustible par cheval-heure.

La figure 155 représente un réchauffeur Wenham appliqué à une machine à triple expansion; la vapeur sortant du premier cylindre A par le tuyau *b* va se sécher et se surchauffer dans un appareil placé sur la chaudière ou chauffé par un foyer spécial et revient par le tube *c* chauffer le réservoir intermédiaire avant d'arriver au second cylindre B. Entre les cylindres B et C, la vapeur est réchauffée en circulant autour des tubes du réservoir comme il vient d'être expliqué. Nous ne croyons pas que Wenham ait exécuté cette machine avec triple expansion.

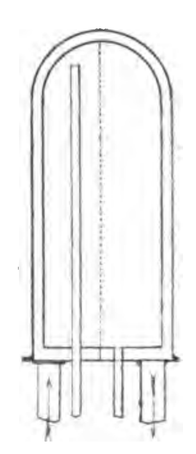


Fig. 156. — Réservoir intermédiaire chauffé dit *hot pot* de E. A. Cowper (1858).

A la même Exposition, on voyait une machine horizontale de Walther May et Cie, de Birmingham, de la puissance de 40 ch; cette machine avait deux cylindres de 0,254 et 0,533 m de diamètre et 0,610 m de course, et la vapeur, passant de l'un dans l'autre, traversait un réservoir intermédiaire placé sous les cylindres et chauffé par une capacité centrale où pénétrait la vapeur de la chaudière. Ce système de réservoir, patenté en 1858 par E. A. Cowper, dont nous avons parlé à propos de la chaudière de Cugnot, était baptisé par lui du nom de *hot pot*, et fut appliqué aux machines compound des navires de guerre anglais *Briton* et *Thetis*, vers 1870. Il ne paraît pas en avoir été fait d'autre application malgré les résultats favorables obtenus alors. Ce réchauffeur (*fig. 156*) était formé d'enveloppes concen-

triques qui faisaient passer la vapeur à réchauffer en couche mince contre une paroi chauffée par la vapeur de la chaudière.

Dans les locomotives compound à deux cylindres, nous avons, dès le début, fait passer le tuyau de communication entre les deux cylindres formant *receiver* dans la boîte à fumée, mais cela plutôt pour le soustraire au refroidissement que pour en obtenir un effet sérieux de chauffage par le contact des gaz de la combustion et cet arrangement a été universellement adopté. Dans quelques locomotives saxonnes, on a fait passer ce même tuyau dans la chambre à vapeur de la chaudière. Enfin la Société Cockerill avait exposé à Liége, en 1906, une locomotive compound à quatre cylindres, dans laquelle la vapeur passant d'un groupe à l'autre de cylindres, traversait un faisceau tubulaire chauffé par des gaz pris dans le foyer, d'une disposition analogue à celle du surchauffeur de W. Schmidt.

QUATRIÈME PARTIE

ENVELOPPES DE VAPEUR

CHAPITRE XII.

L'enveloppe de vapeur figure à un des premiers rangs parmi les améliorations apportées, pour ainsi dire d'instinct, aux machines à vapeur par les premiers constructeurs et auxquels la thermodynamique n'a eu d'autre part que d'en avoir expliqué le mode d'action longtemps après leur adoption.

Les premières machines de Newcomen avaient quelquefois autour de leur cylindre des enveloppes qu'on pourrait appeler *enveloppes froides*, parce qu'elles servaient à recevoir de l'eau pour refroidir les parois du cylindre en vue de la condensation par surface.

Lorsqu'en 1713 un hasard fit découvrir le perfectionnement de la condensation par injection d'eau dans le cylindre ou par mélange, qui fut immédiatement adopté d'une manière générale, on utilisa les enveloppes pour combattre le refroidissement extérieur par rayonnement en les laissant pleines d'air ou en y mettant des cendres ou du charbon de bois pulvérisé.

L'enveloppe *chaude* est due, comme on sait, à Watt. L'envoi dans l'enveloppe de vapeur arrivant par un tuyau spécial est indiqué dans la première patente du grand mécanicien, patente en date de 1760. On sait que Watt considérait comme conditions essentielles pour le bon fonctionnement d'une machine à vapeur un cylindre maintenu chaud et un vide aussi parfait que possible, conditions réalisées par l'emploi de l'enveloppe de vapeur et du condenseur séparé.

L'enveloppe fut conservée par les successeurs et les imitateurs de Watt. Il faut croire cependant que la construction des cylindres avec enveloppes présentait, surtout à une époque où les ressources de la fabrication étaient très limitées, certaines difficultés, principalement au point de vue de l'étanchéité, dont

l'imperfection donnait lieu à des rentrées d'air très nuisibles dans des machines marchant presque entièrement par le vide, car, en 1799, Murdoch, un des assistants de Watt, proposa le singulier mode d'exécution suivant. Ce mode consistait à couler le cylindre avec des parois très épaisses et, au moyen d'un alésoir spécial, de forer une cavité annulaire laissant deux parois, l'une intérieure pour le cylindre, l'autre extérieure pour l'enveloppe, ces deux parois n'étant reliées que par le fond. Nous doutons que ce procédé, long et coûteux, ait jamais été mis à exécution.

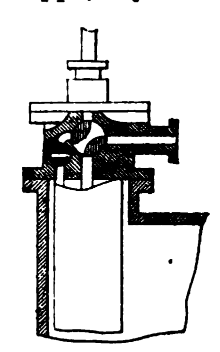
L'enveloppe fut, comme on sait, employée d'une manière très générale sur les machines de Cornouailles, où les plateaux supérieurs et les fonds de cylindres étaient aussi enveloppés de vapeur; cette vapeur était amenée de la chaudière par un petit tuyau spécial et l'eau condensée évacuée par un purgeur et par l'effet de la gravité, quand les cylindres se trouvent en contre-haut des chaudières. C'est ce mode d'alimentation dont on se servait le plus souvent sur les machines fixes. Pour les machines marines, au contraire, dès le début, on employa des enveloppes où circulait la vapeur se rendant aux boîtes de distribution des cylindres.

Il paraît y avoir eu à cette dernière disposition, qui présente de réels avantages parce qu'elle assure la circulation effective de la vapeur dans l'enveloppe et prévient l'accumulation possible d'eau condensée, une raison spéciale. Dans ces machines, l'admission de la vapeur à la boîte à tiroir était contrôlée par un registre en forme de papillon; ce système n'était pas hermétique et n'avait pas besoin de l'être, parce que toutes les machines marines de l'époque avaient des commandes de distribution à déclenche, ce qui empêchait, au cas où il serait arrivé un peu de vapeur au cylindre pendant l'arrêt, la machine de se mettre en marche d'une manière intempestive.

Cette disposition permettait de chauffer les cylindres avant le départ et de les maintenir chauds pendant les arrêts. Dans les machines de Woolf, la vapeur venant de la chaudière circulait toujours dans les enveloppes avant de passer à la boîte à tiroir du premier cylindre. On emploie encore aujourd'hui les deux dispositions d'alimentation des enveloppes, qui ont toutes deux leurs avantages et leurs inconvénients.

On employait, comme nous l'avons dit, les enveloppes sans se rendre compte de leur mode d'action, mais sur le vu des avan-

tages qu'elles procuraient; ce n'est que plus tard que certains Ingénieurs, dont Tredgold, firent remarquer que si l'enveloppe n'était employée que pour combattre le refroidissement du cylindre par l'extérieur, son usage reposait sur une erreur, parce que, la surface extérieure de l'enveloppe étant plus grande que ne l'eût été la surface du cylindre sans enveloppe, il y avait plus de chaleur perdue par rayonnement dans le premier cas que dans le second. Ce raisonnement superficiel fit abandonner dans beaucoup de cas l'usage de l'enveloppe, mais les constructeurs de machines de Woolf la conservèrent toujours.


Fig. 157. — Cylindre dans la chaudière par Trevithick (1802).

Dès 1802, Trevithick indique, dans sa première patente, l'introduction du cylindre, disposé horizontalement ou verticalement, dans la chaudière, où il est baigné dans la vapeur, ce qui constitue une enveloppe très efficace (*fig. 157*). L'inventeur établit dans ce système un grand nombre de machines surtout demi-fixes et mobiles.

Cet exemple fut bientôt suivi. *La Mécanique Industrielle*, de Christian, publiée en 1825, donne plusieurs exemples de machines avec les cylindres dans la chaudière. Les premières locomotives à cylindres verticaux étaient disposées de la sorte. Cet usage s'est maintenu jusqu'à nos jours pour certaines machines locomobiles.

Arthur Woolf alla, ou tout au moins voulut aller plus loin; dans sa patente de 1805, il proposa d'introduire dans l'enveloppe de l'huile ou de la graisse et de chauffer ces matières par un foyer spécial pour obtenir une enveloppe agissant à une température plus élevée que celle de la vapeur (1).

Un Américain établi à Paris, Doolittle, dans des notes ajoutées à sa traduction française de l'ouvrage d'Oliver Evans sur les machines à vapeur, traduction parue en 1821, perfectionna l'idée de Woolf en proposant d'effectuer dans l'enveloppe du cylindre une circulation d'huile chaude s'opérant par des tuyaux dont une partie traverserait le foyer de la chaudière pour y reprendre le calorique communiqué à la vapeur dans le cylindre. Ce système d'enveloppes, que l'on pourrait appeler *intensives*, a été

(1) Voir la note F.

proposé souvent depuis sous diverses formes. Il semble y avoir là une confusion, que nous avons déjà eu occasion de signaler à propos des chaudières à vaporisation instantanée, entre la notion de température et celle de quantité de chaleur.

Il est certain que de l'huile peut être beaucoup plus chaude que de la vapeur, mais celle-ci est susceptible de céder infiniment plus de calorique que la première et c'est ici ce qui est le plus important.

On a employé en Cornouailles, vers 1828, des cylindres à vapeur chauffés directement par un foyer. Est-ce une réminiscence de l'idée de Woolf? Nous l'ignorons. Quoi qu'il en soit, dans une lettre à Davies Gilbert, datée du 30 octobre 1828, Trevithick dit qu'à Binner Downs on a construit autour du cylindre de la machine d'épuisement, dont le diamètre était de 1,78 m, des carneaux en briques communiquant avec un foyer spécial, de manière à chauffer non seulement le pourtour du cylindre, mais encore son plateau supérieur, les boîtes de distribution et le tuyau d'amenée de la vapeur.

On brûlait 190 kg par vingt-quatre heures dans ce foyer et la machine dépensait, dans ce cas, 2 740 kg de combustible dans le même temps; la dépense d'eau de condensation était de 480 l par minute, alors qu'en supprimant le chauffage direct du cylindre la consommation de combustible montait à 3880 kg et celle d'eau de condensation à 560 l. La conclusion était que les 190 kg de charbon brûlé sous le cylindre économisaient six fois leur poids, soit 1 440 kg brûlés sous la chaudière. Trevithick expliquait l'économie d'eau de condensation en disant que la vapeur surchauffée se condensait plus facilement que la vapeur saturée. La raison est bien plus simple, il fallait moins d'eau pour la condensation, parce qu'il y avait en réalité moins de vapeur à condenser; nous reviendrons sur ce point.

Cette installation de Binner Downs paraît avoir été longtemps en service, car dans un mémoire publié dans le vol. II des Transactions de l'*Institution of Civil Engineers*, par William J. Henwood, Secrétaire de la Société Royale de Géologie de Cornouailles, mémoire consacré à des expériences faites par l'auteur sur quelques machines d'épuisement de mines, on trouve une mention intéressante.

Ces machines étaient au nombre de trois : 1° une machine de la mine de Huel Towan, dont le cylindre était très complètement entouré de vapeur; 2° la machine de Binner Downs, dont le

cylindre était chauffé directement par des carneaux en briques et qui parait, d'après ses dimensions, être celle dont parlait Trevithick en 1828, et 3° une machine de East Crinnis, dans laquelle les parties contenant de la vapeur étaient entourées de sciure de bois.

Les résultats de ces expériences, faites en 1837, sont présentés dans des tableaux assez difficiles à interpréter; ils sont donnés sous une forme peu commode et l'auteur se contente de chiffres comparatifs bruts tout à fait insuffisants, à notre avis, pour permettre d'apprécier l'influence exercée par le chauffage à haute température du cylindre de la machine de Binner Downs.

Nous donnons ces résultats dans le tableau ci-dessous, en y ajoutant des données qui ne paraissent pas inutiles. On voit que la consommation par cheval en eau montée, valeur que nous avons déduite du *duty* des Anglais et qui est mieux comprise, au moins en France, que cette expression (on sait que le *duty* est le nombre de livres élevées à un pied de hauteur par boisseau (38 kg) de charbon brûlé) est, dans la machine de Binner Downs, supérieure à celle des deux autres machines, savoir de 13 0/0 sur la première et de 3 0/0 sur la seconde. L'auteur ne va pas plus loin.

La consommation de charbon par cheval d'une machine est, comme on sait, une expression souvent employée, mais absolument antiscientifique. Une machine ne consomme pas de charbon, mais bien de la vapeur qu'une chaudière brûlant du combustible est chargée de lui fournir. Si la chaudière en consomme trop pour produire la vapeur nécessaire à la marche de la machine, celle-ci n'y peut rien.

MACHINES	HUEL TOWAN	BINNER DOWNS	EAST CRINNIS
Diamètre du cylindre.	2,032	1,778	1,930
Course du piston.	3,050	3,050	3,126
Nombre de coups par minute .	5,35	7,50	3,50
Pression absolue à la chaudière.	4,40	4,80	2,25
Travail en chevaux.	105,00	92,20	62,50
Charbon par cheval-heure. . .	0,88	1,00	0,97
Surface de grille par cheval. .	0,064	0,050	0,055
— chauffe par cheval .	2,30	1,45	3,70

On voit par les chiffres du tableau que les conditions de la combustion et de la vaporisation étaient moins favorables dans la machine de Binner Downs que dans les deux autres, qui avaient plus de surface de grille et de chauffe pour l'unité de puissance, il est donc fort possible que l'infériorité constatée pour cette machine tint à ce que la vapeur coûtait plus à produire et non à ce qu'elle consommait plus de vapeur. Des expériences plus minutieuses auraient permis d'élucider la question. La température devait être poussée assez loin dans la machine de Binner Downs, car il est dit que la sciure de bois placée sur le plateau supérieur du cylindre prit feu plusieurs fois pendant les expériences. Le mémoire de Henwood donne les diagrammes d'indicateur, dont deux, relevés sur la machine dont nous nous occupons, sont certainement les premiers diagrammes obtenus sur une machine fonctionnant avec de la vapeur surchauffée, antérieurs, par conséquent, de 18 ans à ceux relevés par Hirn.

Si le procédé employé sur cette machine était efficace, on ne peut se dissimuler qu'il était brutal et dangereux, on ne pouvait modérer la température et on arrivait à fêler le cylindre et à faire gripper les pistons. Aussi ne s'est-il jamais répandu.

Dans sa patente de 1832, postérieure à l'installation de Binner Downs, Trevithick propose de placer le cylindre des machines dans un carneau situé entre la chaudière et la cheminée pour le maintenir à une température plus élevée que celle de la vapeur qui y travaille et pour éviter l'emploi d'un chauffage direct qui consomme du combustible ; cette disposition a été souvent employée, surtout dans les locomotives où on a longtemps logé les cylindres dans la boîte à fumée.

Nous avons dit à propos de la surchauffe que I. K. Brunel avait songé à employer pour les moteurs du *Great Eastern* des enveloppes alimentées par de la vapeur fournie, à une pression d'au moins 10 livres supérieure à celle des chaudières, par un générateur spécial.

Cette alimentation des enveloppes par de la vapeur à une pression plus élevée que celle de la vapeur introduite aux cylindres a fait l'objet de très nombreuses propositions. L'application suivante est, sinon la seule, tout au moins la plus ancienne.

Dans un article sur la *Théorie mécanique de la chaleur* de M. Brun, ancien Ingénieur de la marine, paru dans la *Revue Maritime et Coloniale* de mai 1892, on trouve ce qui suit : « Un

essai d'alimentation des enveloppes de vapeur par une chaudière spéciale à pression supérieure a été fait en 1864, sous la direction et sur la proposition de M. Brun, sur l'aviso *la Mégère*. Un foyer sur dix que comportait l'appareil évaporatoire a été séparé de cet appareil avec la surface de chauffe correspondante et a été destiné à alimenter les enveloppes de l'appareil moteur. Les expériences ont donné les résultats suivants :

	Pressions moyennes effectives aux cylindres.	
	A la chaudière.	Moyenne au cylindre.
Enveloppes vides	0,844	0,605
Enveloppes à la pression de la chaudière.	0,849	0,607
Enveloppes à 5 atm	0,847	0,646

Les pressions sont exprimées en centimètres de mercure ; la puissance est proportionnelle à la pression moyenne aux cylindres ; on voit que l'économie réalisée avec les enveloppes contenant de la vapeur à pression élevée est de 14 0/0 sur les enveloppes vides et de 6 0/0 sur les enveloppes à la pression de la chaudière. Il ne paraît pas avoir été donné suite à cet essai.

Nous ne saurions passer ici sous silence les idées originales émises en mai 1875, dans une conférence faite à l'Institut de Technologie de Massachussetts, États-Unis, par George B. Dixwell, conférence dans laquelle l'auteur propose de porter, par un chauffage extérieur, les parois des cylindres à une température telle qu'il y ait répulsion entre le métal et l'eau ; cette température ne serait, d'après lui, pas supérieure à 200 degrés centigrades pour la fonte ; il explique par ce phénomène de répulsion, l'avantage des cylindres placés dans les boîtes à fumée des locomotives. Dixwell proposait donc d'envelopper les cylindres d'air chaud ou de vapeur surchauffée dont la température, variable selon le degré de détente, serait réglée automatiquement au moyen d'appareils qui seraient probablement compliqués et délicats.

Bryan Donkin fit, en juillet et août 1888, des expériences curieuses dans lesquelles il chauffait avec des becs de gaz le cylindre d'une machine. Ces expériences sont relatées tout au long dans le volume XCVIII des Proceedings de l'*Institution of Civil Engineers*.

La machine dont se servait cet Ingénieur était un petit moteur horizontal à cylindre de 0,213 m de diamètre et 0,356 de course faisant 90 tours par minute. On pouvait le faire fonctionner avec ou sans condensation en le mettant, dans le premier cas, en communication avec le condenseur de la machine de l'atelier où se faisaient les essais. On mesurait l'eau d'alimentation et on relevait des diagrammes sur les deux extrémités du cylindre.

Voici les résultats obtenus. A la marche sans condensation avec chauffage du cylindre, l'ordonnée moyenne du diagramme était de 10 0/0 supérieure à celle du diagramme obtenu sans chauffage. On retrouvait, à 80 0/0 de la course, la totalité de l'eau d'alimentation, alors que, sans chauffage, on n'en retrouvait que 80 0/0.

A la marche sans condensation, l'ordonnée moyenne du diagramme était encore plus grande que sans chauffage, mais moins que dans la marche à condensation. A 80 0/0 de la course, il ne manquait, avec chauffage du cylindre, que 10 0/0 de l'eau de condensation, tandis que, sans chauffage, il en manquait 27. On voit par là que le chauffage du cylindre est plus avantageux pour les machines avec condensation que pour celles sans condensation, bien qu'il le soit encore pour ces dernières.

On a observé qu'au delà d'une certaine température le chauffage ne produisait plus d'effet sensible. Il resterait à savoir, d'ailleurs, ce que coûtait le chauffage pour le défalquer de l'économie obtenue.

Il est juste de rappeler que le chauffage par le gaz de l'extérieur des cylindres se trouve indiqué par E.-A. Cowper dans la discussion à propos des machines à vapeurs combinées, à la séance du 8 février 1859 de l'*Institution of Civil Engineers*.

Un Ingénieur bien connu, notre regretté collègue Casalonga, avait cru pouvoir conclure de ces divers faits que le futur perfectionnement de la machine à vapeur résidait dans le *chauffage à outrance* des cylindres. Il y avait là une exagération, car, si le chauffage de ces capacités dépasse le taux nécessaire, non seulement il ne servira à rien, mais il en résultera que la vapeur d'échappement emportera en pure perte au condenseur ou dans l'atmosphère des calories prises aux parois du cylindre.

C'est surtout sur les locomotives que le chauffage des cylindres par les gaz de la combustion a été appliqué. Stephenson plaça les cylindres dans la boite à fumée dans les premières locomotives qu'il construisit après la *Rocket*, et les autres constructeurs

suivirent son exemple. Le but de cet arrangement était de soustraire les cylindres au refroidissement extérieur.

La disposition matérielle de l'enveloppe n'a pas sensiblement varié depuis l'origine ; nous ne saurions guère signaler qu'une proposition faite par Laboulaye vers 1860, pour disposer l'enveloppe avec des cloisons en hélice pour assurer la circulation de la vapeur, et leremplacement par Loftus Perkins, vers 1870, de l'enveloppe ordinaire par un tube enroulé en serpentin pris à la coulée dans la fonte des parois du cylindre pour chauffer celui-ci par un courant de vapeur *(fig. 158)*; on ne voit pas bien le but de cette disposition compliquée et d'ailleurs peu efficace comme on

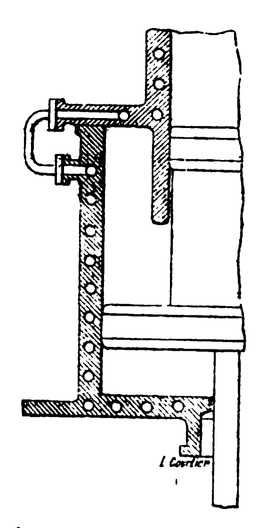
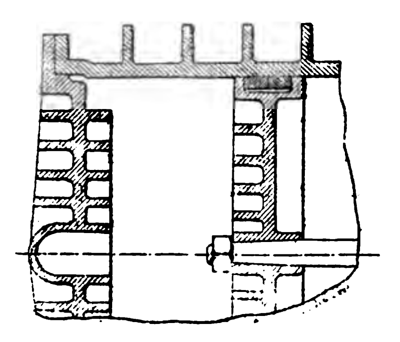



Fig. 158. — Enveloppe de cylindre par Loftus Perkins (1870).


Fig. 159. — Cylindre à enveloppe par Druitt Halpin (1881).

a pu s'en rendre compte par des expériences faites en 1880, aux États-Unis, sur une machine munie de ce dispositif. Enfin Druitt Halpin employa en 1881, un arrangement singulier consistant à disposer des nervures pour faciliter la transmission du calorique de la vapeur extérieure à la surface intérieure des parois du cylindre *(fig. 159)* (1). L'emploi des ailettes extérieures se justifie jusqu'à un certain point, mais celui des nervures intérieures paraît basé sur une idée inexacte, car on doit, au contraire, s'attacher à réduire autant que possible l'étendue des surfaces

(1) Sur la figure, la partie extérieure de l'enveloppe dans laquelle est placé le cylindre a été omise.

en contact avec la vapeur passant par des pressions et, par suite, des températures variables (1).

L'espace nuisible doit être réduit, non seulement comme volume, mais aussi, ce qui est très important, comme surface. La disposition de Druitt Halpin a été appliquée à une machine horizontale de 30 ch construite par la maison Manlove Alliott et C[ie] et, bien que les journaux aient annoncé des consommations extrêmement réduites, ce système n'a jamais été reproduit.

D. K. Clark trouva, dans ses expériences de 1850, une notable différence pour les condensations internes entre les cylindres extérieurs et les cylindres intérieurs qui étaient encore généralement à cette époque contenus dans les boîtes à fumée.

Ce fait ne paraît pas s'être confirmé et cette disposition, qui avait par ailleurs, de sérieux inconvénients, a été complètement abandonnée. Il est difficile d'admettre que les gaz de la combustion puissent produire un chauffage énergique des cylindres autrement que pendant le stationnement, et encore ; en effet, la vapeur agit par sa condensation et 1 m³ de gaz chauds à 350 degrés ne peut céder aux cylindres que 25 calories environ, alors que 1 m³ de vapeur à la pression de 10 kg en abandonnera plus de 2 000, soit 80 fois plus. C'est encore un exemple de la confusion qui se produisait souvent alors entre les deux notions de température et de quantité de chaleur.

D'ailleurs, les cylindres placés dans le bas de la boîte à fumée étaient recouverts d'une couche plus ou moins épaisse de cendres et de poussière de coke, les gaz chauds ne circulaient pas autour et le chauffage était très problématique. Il ne semble donc pas qu'on ait eu tort de renoncer à cette disposition. On voit, en effet, dès 1845, des locomotives ayant les cylindres placés sous la boîte à fumée et entièrement séparés d'elle.

Il semble toutefois qu'on ait cherché à faire circuler les gaz d'une manière plus ou moins complète autour des cylindres, même lorsque ceux-ci sont placés à l'extérieur. Une disposition de ce genre a été appliquée, il y a une vingtaine d'années, par

(1) Nous nous souvenons d'avoir entendu Thomas, dans la discussion d'un projet de concours en 1858, à l'École Centrale, critiquer la forme évidée donnée à un piston de locomotive, forme assez en honneur à l'époque et correspondant avec une forme analogue du fond du cylindre, disant qu'il importait encore plus de réduire la surface de l'espace nuisible que son volume. Cette idée, dont la justesse est aujourd'hui universellement admise était toute nouvelle à l'époque dont nous parlons. La même question a été traitée par Leloutre dans son beau travail sur la *Théorie de la Machine à vapeur* inséré dans nos Bulletins et couronné par l'Institut (voir 1892, vol. II, p. 605).

M. Kossuth sur quelques locomotives des chemins de fer italiens. Ces essais ne paraissent avoir eu aucune suite.

En 1854, Dupuy de Lôme installa un chauffage des cylindres par l'air chaud sur la machine de 900 ch nominaux de l'*Algésiras*. L'air était pris entre la cheminée et l'enveloppe de celle-ci et refoulé par un ventilateur dans une chemise en tôle établie autour des cylindres, pour maintenir ceux-ci à une température d'environ 120 degrés, soit celle de la vapeur à 2 atm de pression absolue.

Avant le départ, on faisait tourner le ventilateur à bras, de manière à chauffer préalablement les cylindres. Il en résultait certains avantages, entre autres la suppression de l'eau produite au départ par la condensation de la vapeur au contact des parois métalliques froides, ce qui fait que les enveloppes d'air chaud, tout en n'ayant qu'une puissance calorifique infiniment plus faible que les enveloppes de vapeur, peuvent encore avoir une certaine utilité. Il est de fait que les consommations de l'*Algésiras* ont été très favorables pour l'époque; elles se sont abaissées à 1,64 kg par cheval indiqué et par heure, chiffre très modéré pour une machine ne fonctionnant qu'à une pression absolue de 2 kg.

On a, depuis Watt, appliqué l'enveloppe, non seulement aux

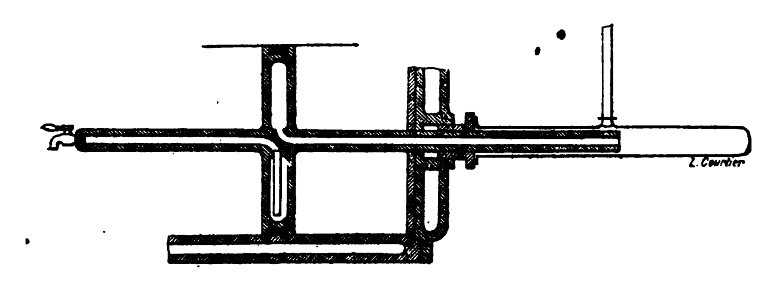


Fig. 160. — Piston chauffé par B. Normand (1856).

parois cylindriques, mais encore aux plateaux et fonds de cylindres; cette disposition se rencontrait, notamment, sur les machines de Cornouailles, comme nous l'avons dit.

Thomas faisait observer, dans son cours de l'École Centrale (1851), qu'il était aussi important de chauffer les pistons, mais qu'on n'avait pas encore trouvé de dispositif assez simple.

B. Normand, dans son brevet du 26 juin 1856, décrit une disposition de piston chauffé par la vapeur, avec évacuation de l'eau de condensation au moyen de tiges de piston creuses *(fig. 160)*.

Nous ne croyons pas qu'il en ait fait l'application, au moins à ce moment. Mais une disposition très analogue a été employée en 1862, par Gâche, à Nantes, sur un bateau à hélice construit par lui et portant une machine Woolf avec pistons chauffés. On trouve cette disposition décrite dans *les Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, quatrième volume, planche 18. Sébillot avait indiqué une disposition analogue, avec deux tiges creuses, une pour l'arrivée de la vapeur, l'autre pour l'évacuation de la vapeur condensée, dans un brevet du 9 janvier 1863. Ces arrangements ne se sont jamais répandus. On les retrouve cependant sur une machine horizontale fixe étudiée par M. G. Duchesne et qui figurait à l'Exposition de Liége en 1905. Cette machine avait ses enveloppes de cylindres alimentées par de la vapeur à une pression supérieure à celle de la vapeur travaillante et produite dans un bouilleur séparé de la chaudière.

Il peut être intéressant d'indiquer que cette disposition de tuyaux à coulisse ou, comme on dit, en trombone, a été proposée pour la première fois, il y a plus de soixante ans, pour un but un peu différent. Un constructeur anglais, Samuel Seaward, proposa de revenir pour les machines marines à roues au système atmosphérique, par l'emploi d'un cylindre à simple effet, sur le piston duquel s'attelait directement la bielle motrice, ce qui permettait de faire des appareils verticaux de hauteur réduite avec des bielles suffisamment longues. Dans son brevet français du 8 août 1846, Seaward indique, pour ces machines, la disposition de détail suivante : le piston porte, entre deux anneaux segments, une rainure communiquant avec un conduit débouchant à la partie supérieure du piston et rattaché à un tube vertical coulissant dans un autre tube fixe, amenant la vapeur de la chaudière. L'objet de cet arrangement est d'amener dans la rainure un courant de vapeur pour que, si le piston n'est pas étanche, la présence de vapeur sous pression empêche des rentrées d'air dans la partie inférieure du cylindre lorsque cette partie est en communication avec le condenseur.

Ce système a été appliqué, par Seaward d'abord en 1843 sur un bateau de la Tamise l'*Atmospheric* qui reçut ensuite le nom de *Sapphire*, puis vers 1850, à divers autres navires, parmi lesquels *le Havre* et *l'Alliance*, de 225 ch de puissance nominale, faisant le service entre le Havre et Southampton. Ces machines ont eu un grand succès. Nous ne savons si la disposition indiquée pour les pistons sur le brevet de Seaward y était employée.

On trouve une disposition de piston chauffé assez simple dans l'*Engineer* du 8 septembre 1882; elle est due à Geoghegan et Sturger (*fig. 161*). On voit que le piston creux reçoit la vapeur vive seulement aux extrémités de sa course, par des orifices percés dans les parois du cylindre et communiquant avec les lumières de distribution.

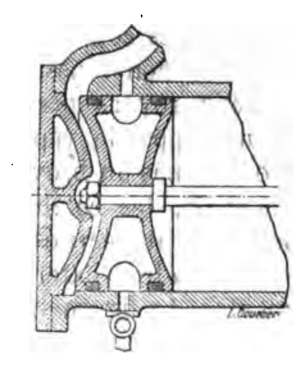


Fig. 161. — Piston chauffé de Geoghegan et Sturger (1882).

Cette disposition paraît, d'ailleurs, plus ancienne. Elle a été proposée de nouveau récemment, avec quelques modifications, par L. J. Todd, aux États-Unis, et appliquées sur une ou deux locomotives au Canada, sous le nom de piston Cleveland (*fig. 162*).

Les enveloppes de vapeur n'ont jamais été employées qu'à titre exceptionnel sur les locomotives et l'expérience ne leur a pas été favorable. Il y a deux raisons à cela : d'abord la quantité de chaleur que peut transmettre une enveloppe dépend de la surface intérieure du cylindre; elle est donc constante pour un cylindre donné, tandis que la puissance développée dans ce cylindre dépend de la vitesse du piston. L'effet utile de l'enveloppe sera d'autant moindre que la vitesse du piston sera plus considérable, et c'est le cas des locomotives où les pistons peuvent avoir des vitesses de 5,50 à 6,50 m par seconde. Ensuite

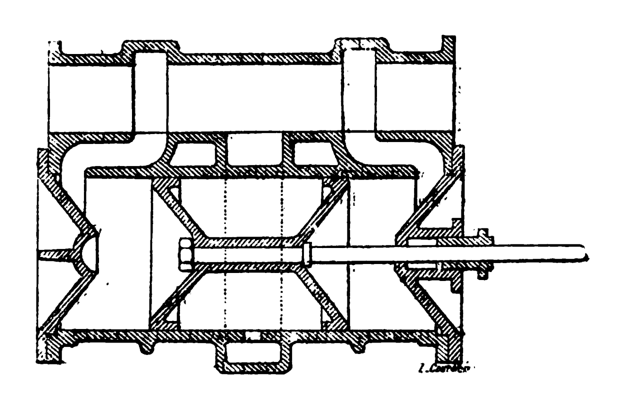


Fig. 162. — Piston Cleveland (1890).

l'enveloppe n'agit d'une manière efficace qu'à la condition qu'il s'y produise une circulation énergique de la vapeur et que l'eau condensée soit soigneusement expulsée. C'est la difficulté de réaliser ces conditions sur les locomotives qui a surtout contribué à la non-réussite des enveloppes.

Nous croyons que la première proposition relative à l'emploi d'enveloppe de vapeur pour les cylindres de locomotives se trouve dans un brevet du 23 avril 1852, délivré à André Koechlin et Cie, les célèbres constructeurs de Mulhouse; ces enveloppes sont décrites appliquées à des cylindres intérieurs ou à des cylindres extérieurs, à circulation de la vapeur ou dormantes. La figure 163 représente la première disposition. Nous ne pensons pas que cette proposition ait été suivie d'effet. C'est un peu plus tard, vers 1856 ou 1857, que Camille Polonceau mit des cylindres à enveloppes sur la machine à voyageurs n° 93 du Chemin de fer d'Orléans. Cette locomotive fut soumise à des essais dans lesquels on releva de nombreux diagrammes d'indicateur. Les conclusions auxquelles on arriva alors furent que l'enveloppe n'offrait pas d'avantages avec la distribution par coulisse, parce que, si son emploi accroissait un peu la tension de la vapeur sur le piston, elle augmentait dans une plus large mesure la compression; il n'en eût pas été de même avec des distributions dans lesquelles la compression ne serait pas dépendante de l'admission, distribution dont Camille Polonceau fit à la même époque un essai non couronné de succès. L'enveloppe fut donc abandonnée.

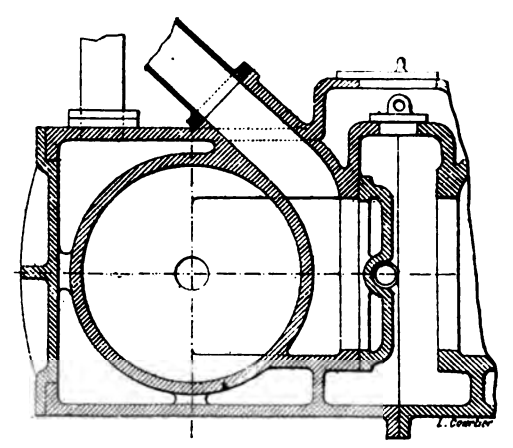


Fig. 163. — Cylindres de locomotives à enveloppes de vapeur brevetés par André Koechlin et Cie (1852).

Elle fut de nouveau essayée au Grand Central Belge, où M. Maurice Urban, directeur du matériel et de la traction, la fit installer sur vingt-sept locomotives, tant à voyageurs qu'à marchandises; les résultats de cet essai fait sur une grande

échelle furent complètement nuls; nous croyons savoir que la circulation était très imparfaite dans ces enveloppes.

En 1879, A. de Borodine, Ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer du Sud-Ouest de la Russie, nous ayant chargé d'établir les dessins de transformation en compound d'une locomotive à voyageurs de ce réseau, insista pour que les cylindres fussent munis d'enveloppes autour et sur les fonds

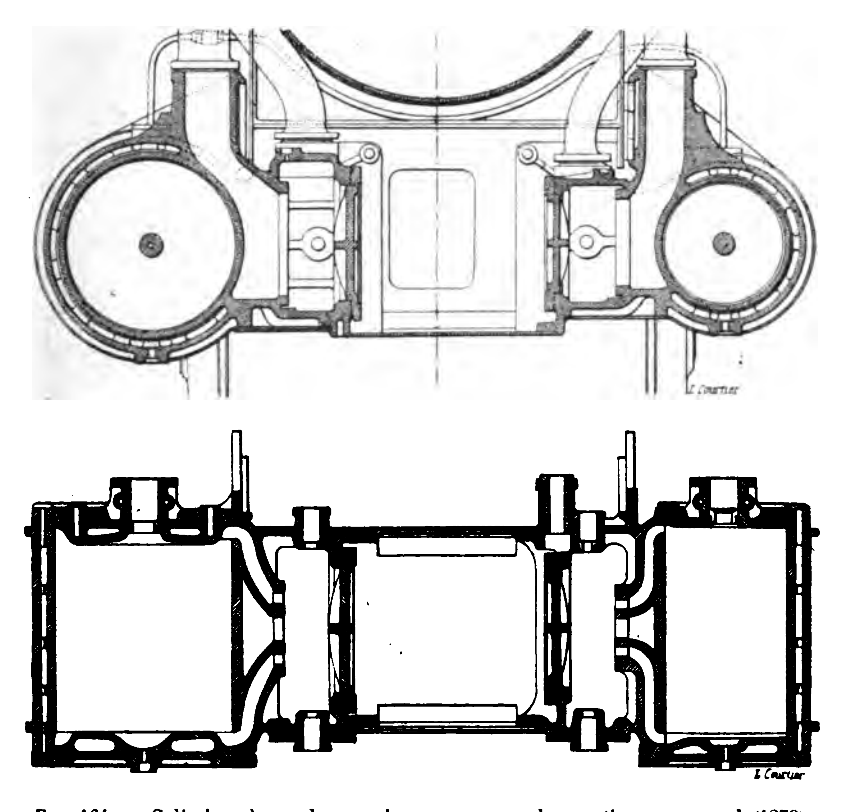


Fig. 164. — Cylindres à enveloppes de vapeur pour locomotive compound (1879).

et plateaux, dans le but de faire des comparaisons avec une locomotive à simple expansion munie également de cylindres à enveloppes. La figure 164 représente la disposition adoptée par nous.

Les expériences très complètes effectuées sur ces locomotives de 1880 à 1883 sont décrites dans le remarquable travail de Borodine, intitulé : *Recherches expérimentales sur l'emploi des enveloppes de vapeur et du fonctionnement compound dans les locomotives,*

paru en 1886, dans les bulletins de notre Société et qui fut récompensé par le prix Nozo. L'étude du fonctionnement des enveloppes a démontré que, si ces additions donnaient une certaine économie dans la marche dans l'atelier d'essais, on ne retrouvait pas cette économie dans la marche en service sur la voie, ce qui paraît dû principalement à l'absence de circulation effective de la vapeur et à l'évacuation défectueuse de l'eau de condensation ; il faudrait trouver un moyen réellement efficace pour évacuer cette eau. Ces essais n'ont donc pas eu de suite.

Nous devons mentionner ici que, dans la discussion qui suivit une communication faite en 1886, à l'*Institution of Mechanical Engineers*, à Londres, sur les locomotives compound, Crampton

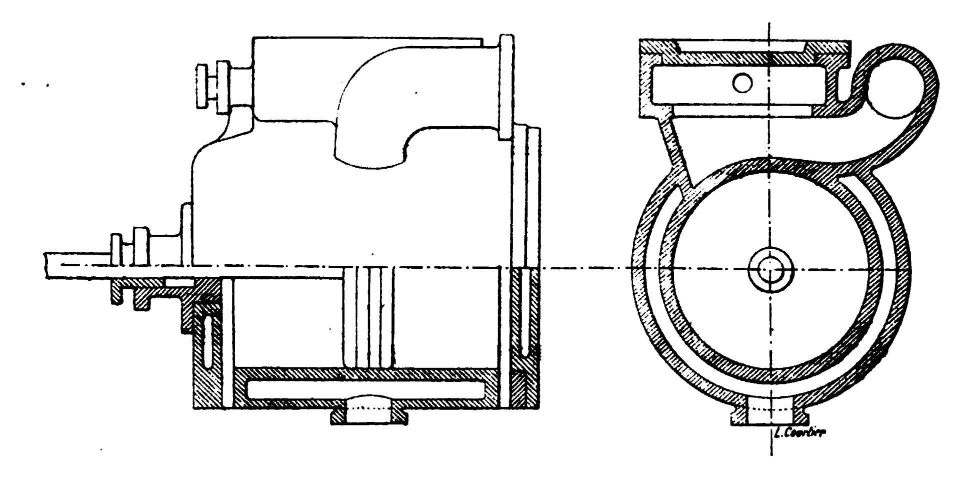


Fig. 165. — Cylindres de locomotives à enveloppes de vapeur par Crampton en 1857.

indiqua qu'il avait, en 1857, étudié des cylindres à enveloppes, qu'il avait appliqués sur six locomotives construites par les ateliers Hawthorn, à Newcastle, pour le *London Chatham and Dover Railway*. Le dessin *(fig. 165)* de ces cylindres est donné sur la planche 88 du volume de 1886 de cette Société. Crampton ne dit rien des résultats obtenus.

L'action de l'enveloppe s'effectuant à travers les parois du cylindre dont l'épaisseur n'est pas négligeable et nécessitant dès lors la transmission du calorique à travers le métal, il est assez naturel qu'on ait songé à chauffer le cylindre par l'intérieur. Ledieu, dans son grand ouvrage sur les machines marines paru en 1862, cite un exemple de cette disposition réalisé sur la

machine de l'aviso français l'*Argus*, construit en 1860, avec une machine étudiée par M. Mangin, Ingénieur de la marine, et exécutée aux ateliers Gouin. Cette machine, qui recevait la vapeur d'un générateur Belleville, avait deux cylindres à fourreau et à simple effet (*fig. 166*) et un condenseur à surface (1).

La partie annulaire du cylindre était en communication avec la chaudière, tandis que l'autre côté du piston était en relation alternativement avec la chaudière et avec le condenseur. Le piston était donc dans un sens poussé par la vapeur et, dans l'autre, ramené par la pression de la chaudière.

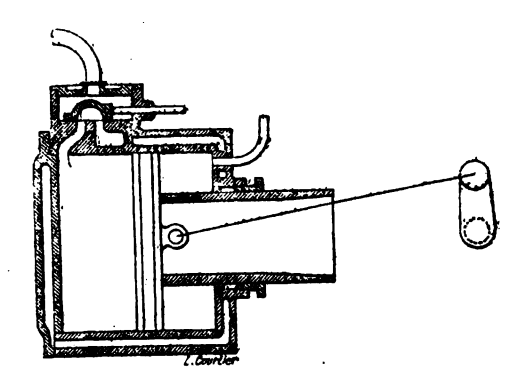


FIG. 166. — Cylindre à simple effet de la machine de l'*Argus* (1860).

L'avantage recherché était que les parois du cylindre étaient réchauffées ainsi que le piston par la vapeur à la pression du générateur. Mais cet avantage était plus que compensé par des difficultés de fonctionnement et une irrégularité de mouvement suivant les allures. On voit, en effet, que l'action de ressort de la vapeur sur la partie annulaire du piston est constante, tandis que l'effort de la vapeur sur la face entière de ce piston est variable selon l'introduction.

Nous profitons de l'occasion pour signaler une confusion commise par l'éminent écrivain que nous venons de citer. Il dit, en effet, que la disposition précédente a été appliquée avec de bons résultats sur un assez grand nombre de machines de terre. Ledieu veut probablement parler de machines de faible puissance, 4 à 8 ch, disposées d'une manière analogue en apparence à la précédente, mais qui en différaient par un point capital, c'est-à-dire que la vapeur agissait d'abord dans l'espace annulaire et passait de là derrière le piston en se détendant à la faveur de l'accroissement de volume. C'était une forme très simple du système de Woolf, mais sans les avantages thermiques dus, dans ce système, à ce que la vapeur agit dans des capacités différentes

(1) Les dessins de l'appareil moteur de l'*Argus* se trouvent au Portefeuille du Conservatoire des Arts et Métiers.

Nous avons encore vu, vers 1860, de ces machines dans la région normande. Leur auteur, Lawday, constructeur-mécanicien à Rouen, avait pris un brevet à la date du 3 juillet 1851, brevet dans lequel il ne revendique pas le principe de cette disposition, mais seulement un système de presse-étoupes et la mise en train par une prise directe de vapeur vive. En fait, l'idée n'était pas nouvelle, car on la retrouve dans un brevet de Truffaut en date du 22 mai 1840, et la disposition décrite par celui-ci pourrait bien n'être qu'une importation française d'une patente anglaise délivrée en 1839 à William Whitham. Cet arrangement, séduisant en apparence, a été fréquemment reproduit sans avoir jamais donné de résultats économiques sérieux.

On peut obvier d'une manière très simple à l'inconvénient signalé plus haut pour la machine de l'*Argus*. Le remède consiste à doubler le dispositif en plaçant le fourreau entre deux pistons et en supprimant la cloison que le fourreau traverse par des presse-étoupes. On retombe alors sur la disposition de piston chauffé qui a été décrite plus haut, seulement avec un piston plus épais, c'est-à-dire deux pistons plus écartés. Cette disposition a été reprise tout récemment par un Ingénieur belge, M. François, qui l'a appliquée à des machines fixes horizontales construites à Seraing et dont une figurait à l'Exposition de Liége en 1905. On en a parlé dans des termes très favorables.

Bien que le principe du perfectionnement dont nous allons parler soit différent de celui de l'enveloppe, nous croyons devoir en dire quelques mots ici. Ce principe repose sur la modification de la nature des parois intérieures du cylindre et du piston, modification ayant pour objet d'atténuer l'importance des échanges de chaleur entre la vapeur et ces parois. On sait, en effet, que les différentes matières n'ont pas les mêmes capacités calorifiques et conductibilités, et il peut y avoir avantage à choisir des matières ayant ces propriétés à un plus faible degré que d'autres.

Smeaton recouvrait d'une couche de bois le dessous du piston des machines de Newcomen pour empêcher le métal d'absorber la chaleur de la vapeur. Le mot *dessous* indique bien la nature de l'effet recherché, car, s'il s'était agi de prévenir la perte de calorique par l'extérieur, on aurait mis le bois en dessus du piston.

Il est intéressant de rappeler qu'un brevet fut pris, en France, à la date du 22 novembre 1859, par l'amiral Labrousse pour des

perfectionnements dans les machines à vapeur, consistant à garnir en bois *à l'intérieur* les fonds et couvercles des cylindres, ainsi que les deux faces des pistons, afin d'empêcher la condensation de la vapeur sur ces surfaces, l'inventeur se réservant de remplacer le bois par d'autres substances non conductrices.

Ch. Emery, Ingénieur en chef de la Marine américaine, fit, en 1866, aux Novelty Iron Works, sous la direction d'Isherwood, et aux frais du Gouvernement des États-Unis, une série d'expériences sur l'influence de la nature des parois des cylindres sur la condensation intérieure de la vapeur. Il opéra d'abord sur trois petits cylindres, l'un en fer nu, l'autre en fer émaillé intérieurement, et le troisième en verre; ces tubes étaient fermés à une extrémité et reliés à l'autre à une sorte de culasse métallique portant un tiroir de distribution mettant l'intérieur du cylindre en communication alternativement avec la chaudière et avec un serpentin plongé dans l'eau froide et dont on recueillait la vapeur condensée. Ces cylindres avaient rigoureusement le même diamètre et les mêmes capacités et surfaces intérieures.

Avec de la vapeur à 1,5 kg de pression on constata que, pour un même nombre de manœuvres du tiroir de distribution, c'est-à-dire pour un même volume apparent de vapeur introduit dans les cylindres, les dépenses de vapeur constatées par les poids d'eau de condensation étaient respectivement de 1 pour le verre, de 1,75 pour le fer émaillé et de 2,5 pour le fer nu. Ces résultats encourageants engagèrent les expérimentateurs à procéder sous une forme se rapprochant davantage des conditions de la pratique.

On construisit une petite machine à vapeur à deux cylindres dont les pistons actionnaient le même arbre, un des cylindres était en fonte nue, l'autre en fonte émaillée. La construction de ce dernier présenta de grandes difficultés parce que l'émaillage à haute température déformait le cylindre qu'on était obligé de roder ensuite pour le rendre bien rond, et l'émail se trouvait très aminci et même enlevé par endroits.

Avec de la vapeur à 5 kg de pression, l'économie de vapeur réalisée avec l'emploi du cylindre émaillé par rapport à la dépense du cylindre en fonte nue varia de 17 à 27 0/0. On ne put continuer les expériences parce que l'émail s'usait très rapidement et laissait la fonte à nu.

On reprit plus tard les essais dans les ateliers Hecker frères,

à New-York, sans qu'on ait obtenu des résultats bien précis.

Vers 1885, G. Westinghouse fit quelques expériences dans la même voie, mais il n'émaillait que les fonds de cylindres et le piston. Il n'en résulta rien de bien net probablement, a-t-on dit, parce que la machine tournait trop vite pour que l'action des parois fût très sensible. On trouve des détails sur cette question dans l'*American Society of Mechanical Engineers*, Vol. VII, année 1885-1886.

Le revêtement en plomb ou en émail des fonds de cylindres et des pistons a été proposé de divers côtés, en Angleterre, et a fait l'objet d'appréciations contradictoires de la part des journaux techniques. Ainsi, l'*Engineer*, dans son numéro du 16 juin 1871, discute assez longuement cette disposition à laquelle il ne se montre pas favorable. Il conclut que des cylindres de ce genre seraient coûteux à établir et à entretenir. Le vrai moyen de prévenir les condensations intérieures est dans l'emploi de l'enveloppe de vapeur combinée avec la division de l'expansion entre plusieurs cylindres. Il serait bon de faire les parties frottantes des cylindres de tubes d'acier de faible épaisseur pour que la vapeur de l'enveloppe transmette plus facilement son calorique à l'intérieur du cylindre.

Il a paru en 1876, à Bruxelles, une brochure intitulée : *Note sommaire sur l'application de la théorie mécanique de la chaleur au perfectionnement des machines à vapeur*, brochure publiée par une Société anonyme dite *Le Progrès*. On y prône l'emploi de revêtements en plomb sur les surfaces intérieures des cylindres, c'est-à-dire sur les fonds et couvercles et les pistons. Il est dit que l'essai en a été fait avec grand succès sur les cylindres du vapeur belge *Baron-Lambermont* en mars 1876. Des expériences faites avec la machine ainsi transformée, le navire étant amarré dans un des bassins d'Anvers, auraient indiqué une notable économie. Ajoutons qu'on n'a jamais entendu parler depuis de cette affaire.

Dans ces dernières années, le regretté professeur Thurston s'est occupé de la question. A diverses reprises, on trouve, dans ses écrits, exprimée son opinion que la modification de la nature de la surface intérieure des cylindres est un des derniers et des plus importants perfectionnements à apporter à la machine à vapeur. Il parait même avoir fait quelques essais à ce sujet, mais, à sa mort, survenue en 1903, il n'avait encore obtenu aucun résultat pratique dans cet ordre d'idées.

Nous indiquerons sommairement que le principe du procédé consistait à attaquer par de l'acide les surfaces du cylindre en contact avec la vapeur, de manière à dissoudre le fer et à laisser une couche spongieuse de carbone qu'on remplissait d'une matière telle que de l'huile siccative, pour transformer par la chaleur la surface en une substance analogue à du caoutchouc vulcanisé. Il a été fait des expériences préparatoires à ce sujet, expériences dont on trouvera le détail dans le volume de 1891 des mémoires de l'*American Society of Mechanical Engineers*.

Nous avouons ne pas avoir grande foi dans l'avenir de ces procédés. D'abord, les facteurs qui influent sur l'importance de la condensation intérieure aux cylindres sont multiples, et la nature des parois n'en constitue qu'un ; sa modification n'aurait donc qu'un effet partiel. Mais il y a autre chose. Si on démonte le plateau du cylindre d'une machine à vapeur qui a fonctionné pendant quelque temps, on trouve les surfaces intérieures autres que les parois cylindriques, qui sont constamment raclées par le piston, recouvertes d'une masse souvent très dure formée par la carbonisation des matières grasses et qui acquiert une épaisseur parfois assez considérable. C'est cette couche qui forme la véritable paroi du cylindre. Quels sont la conductibilité, la capacité calorifique et le pouvoir émissif de cette substance? Peu importe ; le fait essentiel est que cette matière sera toujours la même, que les fonds de cylindres et les pistons soient en fonte nue ou en fonte recouverte de plomb, d'émail, etc. Il ne semble donc pas qu'il soit utile de se préoccuper de la nature des parois intérieures, puisque la force des choses amène toujours la constitution de ces parois par une substance constante d'une épaisseur très appréciable qui se trouve être la véritable couche sensible au calorique.

CINQUIEME PARTIE

ACTION DES PAROIS

CHAPITRE XIII.

Un moteur hydraulique est un appareil purement mécanique, mais un moteur à vapeur est un appareil dont le fonctionnement s'opére à la fois par des effets mécaniques et par des effets physiques. Dans le premier, l'eau qui le fait agir ne change pas d'état, tandis que, dans le second, elle est tantôt à l'état liquide et tantôt à l'état gazeux.

Tout le monde sait que, dans les machines à vapeur, un premier changement d'état se produit dans la chaudière où, sous l'action de la chaleur produite par la combustion du charbon sur une grille, l'eau se réduit en vapeur et qu'un second changement a lieu quand la vapeur, après avoir agi sur le piston, est soumise à une soustraction de calorique qui la fait repasser à l'état liquide en produisant, dans les machines à condensation, un vide plus ou moins complet, lequel existant du côté du piston opposé à celui sur lequel agit la vapeur s'ajoute à l'effet de la pression de celle-ci.

Ce qui était moins généralement connu, jusqu'à une certaine époque, c'est que ces changements d'état ne sont pas les seuls qui se produisent dans le fonctionnement régulier des machines à vapeur et qu'il s'effectue dans le cylindre même des machines des alternatives de condensation de la vapeur et de vaporisation de l'eau provenant de cette condensation, changements d'état amenés par des échanges de chaleur entre le fluide moteur à un état ou à l'autre et les parois des cylindres et des pistons.

Ces faits paraissent avoir été longtemps ignorés et la théorie des moteurs à vapeur a été basée pendant bien des années sur la supposition que la vapeur agissait dans des cylindres immatériels, c'est-à-dire imperméables au calorique ou de capacité et conductibilité calorifiques nulles. Nous ne saurions mieux définir

le caractère par trop rudimentaire de ces théories qu'en reproduisant ici l'appréciation, aussi sévère que juste, dont elles ont été l'objet de la part d'un Ingénieur profondément versé dans la science des machines à vapeur, notre regretté collègue G. Leloutre :

« Des aperçus complètement faux sur le mode d'action de la vapeur dans nos moteurs, admis sans discussion, ont empêché jusqu'à ce jour une analyse sérieuse des causes qui pouvaient donner lieu à la différence qui existe entre le poids de vapeur calculé et le poids de vapeur observé....

» ... On continue à traiter la théorie des machines à vapeur d'une manière par trop primitive. Dans les ouvrages spéciaux et les cours sur les machines à vapeur, on procède à peu près ainsi : on suppose les cylindres imperméables au calorique, en raison de la petite fraction de temps exigée pour une course de piston; on fait alors arriver la vapeur dans un récipient géométrique insensible à la chaleur et on applique la loi de Mariotte, puis viennent quelques formules, et on établit ainsi une théorie de la machine à vapeur. L'autorité d'un nom aidant, cette théorie entre gravement dans le monde et même, hélas! elle est sûre de faire son chemin. » (*Bulletin de la Société Industrielle du Nord de la France*, mars 1874.)

Le résultat le plus clair de ce mode d'opérer était de donner pour les machines des consommations calculées inférieures de 30 0/0 et plus aux consommations réelles obtenues en pratique, et cela sans qu'on pût attribuer la différence à aucune cause de principe. Ce fait avait frappé depuis longtemps les expérimentateurs. Thurston rapporte (*American Society of Mechanical Engineers*, 1892, page 467) que Haycraft, dont nous avons cité le nom à propos de la surchauffe, aurait, vers 1830, fait passer la vapeur d'échappement d'une machine dans un condenseur à surface pour apprécier le poids de vapeur dépensé réellement et constaté que le poids obtenu sur les diagrammes d'indicateurs qu'il relevait sur la même machine était de 30 0/0 inférieur au précédent. Il attribuait la différence à l'eau entraînée. Un Ingénieur français, le comte G. de Pambour, qui fit, vers 1835, de nombreuses expériences sur les locomotives des chemins de fer anglais, avait constaté que, si on calcule le poids de vapeur débité par les cylindres à la pression moyenne de la vapeur, ce poids est très inférieur à la dépense en eau d'alimentation introduite dans la chaudière. La différence, qui peut s'élever à 50 0/0 de

cette dernière, étant trop grande pour pouvoir être attribuée à des fuites ou à des condensations amenées par refroidissement extérieur, et cela, d'autant moins que les cylindres des locomotives expérimentées étaient contenus dans les boîtes à fumée, ne pouvait, d'après Pambour, être due qu'à la présence d'une forte proportion d'eau entraînée à l'état liquide avec la vapeur. C'est ainsi que la légende des entraînements d'eau dans les chaudières de locomotives atteignant 30 et 40 0/0 s'est propagée presque jusqu'à notre époque, bien que toutes les expériences directes faites à plusieurs reprises à ce sujet aient démontré que, sauf dans des cas spéciaux et sous l'influence de causes accidentelles, la proportion d'eau entraînée dans les locomotives est en réalité des plus modérées.

Un Ingénieur des Ponts et Chaussées, Frimot, dont nous avons déjà eu l'occasion de citer le nom, dans des « Conférences sur les faits pratiques les plus intéressants concernant les machines à vapeur fixes et mobiles faites dans les années 1843-1844 à l'École Royale des Ponts et Chaussées », rapporte une intéressante expérience faite par lui.

Il s'est servi d'une petite machine à vapeur alimentée par une petite chaudière et qu'on faisait marcher très lentement; la vapeur sortant du cylindre était condensée dans un serpentin refroidi à l'extérieur; on mesurait l'accroissement de température de l'eau de refroidissement et son volume, de manière à obtenir la quantité de chaleur cédée par la vapeur dans sa condensation. Si on calcule le volume décrit par le piston pendant la durée de l'expérience et qu'on le multiplie par la densité de la vapeur correspondante à la pression moyenne au cylindre, on obtiendra le poids de vapeur débité et il sera facile d'en déduire la quantité de chaleur contenue. Or, la quantité de chaleur recueillie par l'eau de condensation représentait jusqu'au double de la première. Il en résulte qu'il se perdait dans le cylindre une portion du calorique contenu dans la vapeur, portion atteignant 40 et 50 0/0 de la chaleur totale. De quelle manière cette chaleur a-t-elle pu disparaître? C'est ce que, disait Frimot, l'expérience a été jusqu'ici impuissante à expliquer.

D'ailleurs, la pratique journalière indiquait de la manière la plus nette que les calculs théoriques de la dépense de vapeur dans les machines ne donnaient aucun résultat satisfaisant et que les économies basées sur l'emploi de la détente étaient illusoires.

Campaignac (*De l'état actuel de la navigation par la vapeur*, Paris, 1842) dit, page 73, que les essais de détente faits sur la machine du *Vautour* n'ont donné aucun résultat. Lorsqu'on réduisait l'introduction au-dessous de 0,50 de la course, les condenseurs s'échauffaient au point de rendre le vide presque nul, indiquant ainsi que moins on introduisait de vapeur au cylindre, plus il semblait s'en retrouver à la sortie.

Campaignac ajoute : « Sur l'*Aigle n° 2*, de 80 ch, construit en 1839 pour la navigation du Rhône, si on faisait usage de la détente, on consommait plus de charbon sans augmentation de vitesse; on dut réduirela pression et remettre l'appareil moteur dans les conditions des machines à basse pression. »

L'amiral Paris, alors capitaine de frégate, au cours d'un voyage de circumnavigation effectué sur la corvette l'*Archimède*, de 220 ch, se plaignait de ce que l'emploi de la détente, loin d'amener des économies, augmentait la dépense à ce point que, la machine consommant 2,25 kg de charbon par heure et par cheval à toute volée, on brûlait 3,60 kg en fonctionnant avec détente.

Sur le *Roland*, dit encore le savant marin (*Traité de l'hélice propulsive*, page 523), on a observé qu'à toute volée et en développant 557 ch on brûlait 3,8 kg par cheval et par heure, alors qu'avec 0,4 d'introduction et en ne faisant que 204 ch c'étaient 4 kg. On avait déjà observé qu'une machine marchant à grande détente avec quatre cylindres brûlait autant de charbon qu'en fonctionnant à l'introduction habituelle avec deux cylindres seulement. » L'amiral ajoute cette réflexion curieuse : « Si ces observations sont exactes, elles renversent en grande partie ce que nous admettions au sujet de la détente et elles porteraient à chercher une source d'économie dans une méthode semblable à celle des machines de Woolf, en tâchant de disposer des conduits pour qu'un des cylindres détende la vapeur de l'autre. Mais, à moins de dispositions bien simples, une pareille addition au mécanisme ne serait pas admise sur mer, quels que fussent ses avantages. » Ceci était écrit en 1854; il y avait donc des années que des bateaux avec des machines à double expansion de Roentgen, présentant les dispositions bien simples jugées nécessaires par Paris, naviguaient sur le Rhin, le Danube, le Volga, la Moselle et autres rivières et même sur mer.

On pourrait citer des entreprises de navigation basées sur l'emploi de moteurs soi-disant économiques fonctionnant à dé-

tente, qui se trouvèrent ruinées par les excédents imprévus de dépense de charbon et par la nécessité de charger les bateaux de combustible au point de ne plus laisser de place pour le fret.

Si Frimot, lorsqu'il disait en 1842-43 que l'expérience avait été jusqu'ici impuissante à expliquer la perte de calorique qui se produit dans le cylindre des machines, avait eu sous les yeux le numéro d'octobre 1841 du *Journal des Usines* (1), il y aurait trouvé l'explication du mystère donnée par Thomas et Laurens dans un article intitulé : « De l'utilité des enveloppes avec circulation de vapeur à la température de la chaudière autour des cylindres des machines à vapeur ».

Voici ce qui est dit de plus essentiel dans cet article : « Lorsqu'on commence à mettre en train une machine à condensation sans enveloppe, le cylindre qui est froid condense, contre ses parois intérieures qui se recouvrent immédiatement de gouttelettes d'eau, une partie de la vapeur que l'on introduit; cette condensation dure jusqu'à ce que les parois aient acquis la température de la vapeur avec laquelle elles sont en contact. Après le changement de direction du piston, l'intérieur du cylindre se trouve en communication avec le vide; les gouttelettes d'eau dont les parois sont recouvertes ne se trouvent plus alors soumises qu'à une tension très faible, celle du condenseur (un dixième d'atmosphère environ) ; ces gouttelettes tendent donc à s'évaporer et elles émettent de la vapeur jusqu'à ce que leur température et, par suite, celle des parois du cylindre qu'elles touchent soient descendues à celle qui correspond à la tension dans le condenseur, c'est-à-dire 35 à 38 degrés. Comme on le voit, cet effet de vaporisation est instantané, de telle sorte qu'immédiatement l'intérieur du cylindre est refroidi presque comme avant la mise en train et, au second coup, la vapeur qui vient presser le piston, étant de nouveau en contact avec des parties froides, il s'en condense une certaine quantité pour les réchauffer et, de là, la formation de nouvelles gouttelettes qui, à cause de la revaporisation, par suite de la communication avec le vide, après le changement de direction du piston, prennent, ainsi que les parois du cylindre, la température du condenseur ; au troisième coup de piston, la

(1) Le *Journal des Usines*, publié par J.-B. Violet, a paru de juillet 1841 à juin 1847, par numéros mensuels de format in-8°. Il contenait des mémoires originaux sur les questions de moteurs, de transmissions, de métallurgie, de jurisprudence industrielle, etc.; plusieurs de ces mémoires portent les signatures de Alcan, Callon, V. Bois, Thomas et Laurens, etc. On y trouvait aussi beaucoup de notes techniques reproduites des revues anglaises.



vapeur qui arrive trouve des parois froides contre lesquelles elle se condense en partie et le même phénomène se renouvelle à chaque coup de piston ; cette condensation de vapeur se produit donc deux fois par tour du volant tant que la machine marche, car aucune cause ne peut la faire cesser et, quelque faible qu'elle soit à chaque coup, elle doit nécessairement entraîner une consommation notable de combustible.

» Il est impossible de l'empêcher en entourant le cylindre avec un corps non conducteur qui, ne produisant pas de chaleur par lui-même, ne peut élever la température du cylindre de manière à éviter la condensation d'une partie de la vapeur qui y arrive ; il faut entourer le cylindre de vapeur à une température au moins égale à celle de la vapeur qu'il contient. Il en est de même pour les machines sans condensation auxquelles il serait également utile de mettre des enveloppes, bien que cela n'ait jamais été pratiqué (1).

» Il est possible de vérifier par l'expérience la théorie qui précède ; si on regarde avec attention fonctionner une de ces machines à cylindre en verre (2) qu'on trouve dans les cabinets de physique, on voit distinctement des gouttelettes d'eau se déposer sur les parois intérieures du cylindre pendant l'action de la vapeur sur le piston et ces gouttelettes disparaître subitement dès que le cylindre communique avec le condenseur. »

Ces explications données par notre regretté collègue Thomas pour la première fois dans son cours à l'École Centrale en 1837-38, furent confirmées par des expériences faites par lui et par Combes sur une machine Farcot établie dans la fabrique de couvertures Albinet, rue de la Vieille-Estrapade, à Paris.

La théorie basée sur ces échanges de chaleur entre la vapeur ou l'eau condensée et les parois du cylindre a été exposée dans la note communiquée par Combes à l'Académie des Sciences, dans la séance du 3 avril 1843, communication dont nous reproduisons la conclusion.

« Dans la plupart des machines à vapeur et probablement dans toutes, une partie de la vapeur admise au cylindre se liquéfie immédiatement par l'action refroidissante des parois du

(1) On peut citer, à titre d'exception, que les machines de Trevithick avaient leur cylindre plongé dans la vapeur de la chaudière, bien qu'elles fussent presque toutes sans condensation.

(2) Les premières machines à vapeur de démonstration à cylindre en verre ont été faites, croyons-nous, par notre collègue Eugène Bourdon, le célèbre mécanicien, et cela vers 1830, car elles font déjà l'objet d'un rapport à la Société d'Encouragement en 1834.

cylindre dont la capacité était, quelques instants avant, en communication avec le condenseur; il se forme dans le cylindre de l'eau liquide aux dépens de la vapeur admise, indépendamment de celle qui a pu être entraînée à l'état globulaire de la chaudière dans le cylindre. L'eau liquéfiée se vaporise de nouveau pendant la détente, de sorte que de nouvelles quantités de vapeur s'ajoutent pendant cette détente à la vapeur déjà existante, c'est ce qui fait que les tensions décroissent moins rapidement que suivant la raison inverse des volumes. Dans les machines dont les cylindres sont enveloppés de vapeur et exposés ainsi à une source de chaleur extérieure, la totalité de l'eau liquéfiée est vaporisée de nouveau lorsque le piston arrive à fin de course, pourvu, toutefois, que l'espace occupé par la vapeur à fin de course soit égal à deux ou trois fois son volume primitif. »

Combes, dans cette communication, indique que, vers 1840, Thomas avait appliqué sur plusieurs machines, entre autres sur une à haute pression et à détente, établie à Charonne, un indicateur rapporté d'Angleterre par lui, Combes. Thomas a bien voulu communiquer à celui-ci le résultat de ses observations et l'inviter à venir les répéter avec lui. Thomas avait constaté que la tension de la vapeur dans le cylindre, pendant la détente, variait beaucoup moins rapidement que suivant la raison inverse des volumes. Ce fait qui, disait Thomas, s'était reproduit dans toutes les observations qu'il avait pu faire, est extrêmement marqué dans la courbe des tensions que Thomas et Combes relevèrent sur la machine de Charonne et dont un calque est joint au mémoire de Combes.

Nous ferons observer que, si Combes fait, dans ce qui précède, mention des expériences et des observations de Thomas, il ne dit pas un mot de l'article, antérieur de dix-huit mois à sa propre communication, du *Journal des Usines*, article dont il ne pouvait pas, vu ses relations avec Thomas au sujet de la question même, ne pas avoir connaissance et dont son mémoire, à lui Combes, à l'Académie, n'est pour ainsi dire que le développement. Cette omission, qu'on ne s'explique guère, pas plus, du reste, que le silence de Thomas, a eu pour conséquence de réduire longtemps le rôle de ce dernier dans la question de l'action des parois à la mesure insuffisante donnée par Combes dans sa communication.

Or voici un exemple de ce fait pris au hasard : M. A. Witz, dans son excellent ouvrage *La machine à vapeur*, 2e édition, 1902,

page 40, dit : « Le 13 avril 1843 (1), dans une communication à l'Académie, Combes, secondé par Thomas, démontre que la machine à vapeur ne devrait pas être considérée comme un simple mécanisme dont on puisse analyser le fonctionnement sans tenir compte des propriétés réelles du fluide saturé, mais qu'il fallait absolument faire intervenir dans le cycle des opérations les échanges de calorique qui ont lieu entre la vapeur et le métal. A cet Ingénieur distingué revient l'honneur d'avoir provoqué une réaction contre les théories artificielles établies jusqu'alors pour expliquer le fonctionnement des machines et les conditions de leur rendement. Hirn n'a jamais manqué de rendre hommage à Combes de cette initiative. »

En toute justice, la meilleure partie de cet hommage ne devrait-elle pas s'adresser à Thomas? Nous reviendrons plus loin sur l'opinion de Hirn.

Un fait à signaler est qu'à cette même séance de l'Académie du 3 avril 1843 fut présentée une note de Pambour sur l'eau liquide mêlée à la vapeur dans les cylindres des machines.

Dans cette communication, l'auteur, partant du fait constaté que la quantité d'eau existant à l'état liquide dans la vapeur au commencement de la course du piston est considérable et que cette eau se vaporise plus ou moins complètement pendant le reste de la course, maintient que cette eau a été entraînée de la chaudière à l'état liquide avec la vapeur et ne provient pas d'une condensation opérée dans le cylindre. Il se base sur ce que, dans les locomotives où il a remarqué ce phénomène, il y a de l'eau entraînée en grande proportion et que, les cylindres étant maintenus au chaud dans la boite à fumée, il ne peut y avoir de condensation. La question étant bien nettement tranchée aujourd'hui, nous ne citons cette application de Pambour qu'à titrée de curiosité.

Nous ne saurions omettre de dire ici que, à l'époque même où Combes exposait devant l'Académie des Sciences la théorie des machines à vapeur basée sur l'action des parois, un Ingénieur anglais, Joseph Gill, résidant alors à Marsala, en Sicile, dans une note que nous avons déjà citée dans l'article sur la surchauffe, note datée de septembre 1843 et insérée dans les *Quarterley Papers* de John Weale, arrivait, à la suite d'expériences analogues à celles de Frimot, à attribuer la perte de calorique dans le cylindre

(1) La date exacte est le 3.

à l'absorption et à la résorption de ce calorique par de l'eau contenue au début dans ce récipient et dont la proportion ne fait que s'augmenter pendant la marche. On sait que cette théorie a été reprise il y a quelques années par Zeuner et qu'il en est résulté une intéressante controverse entre ce savant et l'école de Hirn.

Les expériences d'Emery aux États-Unis, dont nous avons parlé précédemment. et les recherches faites dans la même contrée par Hall notamment, pour ne parler que des plus anciennes, recherches faites par des procédés thermo-électriques pour étudier les variations de températures des parois du cylindre pendant la durée de la course du piston, ont montré directement l'action des parois ; mais l'influence pernicieuse de la présence de l'eau dans le cylindre est également manifeste et, de tout temps, on avait senti la nécessité de purger les cylindres, même pour des raisons autres que pour prévenir les effets mécaniques dus à la presence de cette eau ; il est certain que les deux actions des parois et de l'eau peuvent quelquefois coexister dans certaines machines et amener des conséquences économiques des plus fâcheuses.

Des expériences faites sur des locomotives en France par Le Chatelier, Gouin, Bertera et Camille Polonceau en 1844 et 1849 et, en Angleterre de 1849 à 1851 par Daniel Gooch et D. K. Clark, mirent en lumière les différences considérables existant entre les poids d'eau obtenus par les diagrammes d'indicateur et les poids d'eau d'alimentation introduits dans la chaudière. Clark, en analysant les expériences anglaises, arrivait aux mêmes conclusions que Thomas et Combes relativement à l'action des parois et signalait l'effet illusoire de la détente amené par cette action sous une forme humoristique intelligible seulement en anglais « *expansive* working *is expensive* working.

En 1850, Reech, savant Ingénieur de la Marine, dont nous avons déjà eu occasion de citer le nom, envisagea l'action des parois des cylindres dans un rapport relatif à des essais de consommation faits au port de Lorient sur une machine à vapeur d'eau et de chloroforme construite sur les plans de Lafont. Ce rapport n'a été rendu public qu'en 1889, M. Madamet l'ayant reproduit dans sa *Thermo dynamique*.

Enfin, Hirn, dans les mémoires dont nous avons parlé précédemment et qui ont été publiés dans les *Bulletins de la Société Industrielle de Mulhouse*, a étudié l'action des parois et a établi une

théorie pratique de la machine à vapeur aujourd'hui universellement admise ; cette théorie a contribué pour une grande part à rendre célèbre le nom de son auteur.

On peut, semble-t-il, s'étonner que cette action des parois des cylindres, dont l'influence sur la dépense de vapeur des machines est si considérable, ait été longtemps ignorée alors qu'elle avait été bien nettement constatée dès le début même des machines à vapeur. La dépense exagérée des machines de Newcomen était due en grande partie à ce que la condensation se faisant dans le cylindre même, les parois passaient alternativement par les températures extrêmes de la vapeur venant de la chaudière et de l'eau de condensation.

On avait cherché à atténuer cette perte ; nous avons vu que Smeaton avait doublé de bois le dessous du piston; Desagúliers avait proposé de remplacer le bronze, dont on faisait les premiers cylindres, par de la fonte, qui avait moins de conductibilité et de capacité calorifique. Dans ses premiers essais, Watt employa un cylindre en bois qu'il avait rendu imperméable en le faisant bouillir dans l'huile de lin. Ce n'étaient que des palliatifs insuffisants; ce qu'il fallait, c'était un remède plus radical. Watt le trouva par l'invention du condenseur séparé, qui est le principe même de sa machine; le résultat fut si beau, que le grand mécanicien crut avoir entièrement supprimé l'action nuisible des parois, alors qu'il n'avait fait que l'atténuer, dans une très large mesure il est vrai. En effet, même avec le condenseur séparé, le cylindre ne se met pas moins, pendant la période d'échappement, en équilibre de température avec le condenseur et les écarts des températures extrêmes des parois du cylindre ne restent pas moins sensiblement les mêmes.

C'est probablement cette fausse appréciation de l'effet réel du condenseur séparé qui a empêché de chercher plus tôt dans l'action des parois la cause de l'anomalie qu'on constatait dans le fonctionnement des machines à vapeur, c'est-à-dire de ce que les Anglais désignent par l'expression significative de *Missing Quantity*, le manquant, dirions nous, dans la vapeur indiquée par rapport à l'eau d'alimentation, et cela d'autant plus qu'on croyait trouver l'explication de ce manquant dans des causes différentes, ainsi que le faisait Pambour.

L'éminent professeur à l'Université de Liége, M. Dwelshauvers-Dery, a publié dans la *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie*, 1880, vol. II, de remarquables articles où nous trouvons le

passage suivant : « Le savant physicien, M. Hirn, a découvert, démontré expérimentalement et mesuré l'influence thermique des parois des cylindres des machines à vapeur. Peut-être avait-on soupçonné déjà qu'il s'effectuait des condensations pendant la détente, mais, le premier, il a prouvé qu'il y avait échange continuel de calories entre les parois du cylindre et la vapeur, pendant tout cet acte mystérieux où la chaleur disparaît en quantité proportionnelle au travail mécanique. »

L'auteur cite ensuite la note de Combes de 1843 en attribuant aux remarques de celui-ci un caractère de supposition non appuyée de preuves pratiques. En 1855, dit-il, Hirn publia une étude complète de l'action de l'enveloppe faite en suivant une méthode nouvelle et certes inattendue.

« Tous les phénomènes sont d'abord exactement observés, les chiffres relevés, leur loi déterminée, après quoi en vient l'explication. C'est ainsi qu'il démontre que les parois du cylindre, loin d'être passives, jouent constamment le rôle de réservoir thermique et qu'il arrive à en mesurer l'influence. Mais la mesure est plus ou moins exacte; beaucoup d'éléments lui manquent encore pour obtenir plus de précision. N'importe, la méthode d'essai est créée et l'ancienne théorie qui regarde les parois comme inertes est détruite, l'étendue des erreurs auxquelles elle conduisait étant trop considérable.

» En dehors de l'école de Hirn, nous ne trouvons plus que l'américain Isherwood dont les travaux au sujet de l'action thermique des parois des cylindres soient considérables. »

Puisqu'il est ici question d'Isherwood, nous nous permettrons d'ajouter ce qui suit.

Dans le tome Ier de 1879 de la *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie*, page 501, M. Dwelshauvers-Dery disait : « Si les travaux de Hirn n'avaient précédé de plusieurs années ceux de M. Isherwood, ce dernier pourrait revendiquer la découverte expérimentale de l'action des parois métalliques des cylindres. » Il nous semble qu'on peut faire cette revendication en faveur de Thomas, qui, plus de quinze ans avant Hirn, a montré l'inexactitude de la théorie basée sur l'inertie des parois du cylindre et démontré pratiquement les échanges de chaleur entre les parois et la vapeur par le fait même de la surélévation de la courbe de la détente sur les diagrammes; cette surélévation indique bien clairement la revaporisation qui s'opère pendant la détente, comme il résulte de la note de Combes à l'Académie du 3 avril

1843. Une autre démonstration pratique résulte de l'expérience faite sur la machine à cylindre en verre, que Thomas répétait devant ses élèves depuis 1838 ou 1840 et que pour notre part, nous nous rappelons parfaitement avoir vu faire.

Étant donnée cette antériorité, on peut se demander s'il est bien rigoureux de dire que Hirn a le premier découvert et démontré expérimentalement le fait matériel de l'action thermique des parois des cylindres.

Nous ne parlons pas de la question de la mesure, ne voulant pas revendiquer en faveur de Thomas autre chose que ce qui lui est dû.

Dans son article de la *Revue Universelle* de 1880, M. Dwelshauver-Dery ajoutait : « Sans doute, nous pouvons avoir péché par omission ou par ignorance, nous avons pu passer sous silence des travaux importants peut-être. Qu'on nous les signale, nous nous ferons un plaisir de les mentionner ici. Ce que le lecteur nous accordera, alors même qu'il ne partagera pas notre manière de voir, c'est que nous avons fait tout notre possible pour montrer comment notre opinion s'était formée et pas pour démontrer une théorie et faire à tout prix prévaloir une idée personnelle. »

Appréciant tout l'intérêt que présentait la note de M. Dwelshauvers-Dery, nous crûmes devoir en donner un résumé dans la Chronique du *Bulletin* de septembre 1880 de la *Société des Ingénieurs Civils* et, répondant à la loyale invitation de l'auteur, nous fîmes suivre ce résumé de la reproduction du passage du cours lithographié de machines à vapeur de l'École Centrale pour les années 1851-52, pages 49 et suivantes, passage concernant la condensation intérieure au cylindre pour faire voir que Thomas ne se contentait pas de faire des conjectures et des suppositions sur le mode d'action des parois des cylindres et l'influence de l'enveloppe, mais émettait ses idées à ce sujet sous la forme la plus nette et la plus précise. Thomas indiquait que ces explications avaient été données pour la première fois aux élèves de l'année 1837-38.

Dans le même volume de la *Revue Universelle*, pages 587 et suivante, M. Dwelshauvers-Dery a bien voulu répondre à la note précédente en déclarant n'avoir jamais eu connaisance du travail de Thomas, qu'il qualifie de document d'une grande importance et qu'il n'eût pas manqué de citer à la place qui lui est due chronologiquement s'il l'eût connu. Il ne croit pas

toutefois que cette note soit de nature à enlever à Hirn l'honneur d'avoir découvert la théorie du rôle thermique des parois du cylindre. Nous n'avions rien prétendu de semblable, nous bornant à dire que le fait matériel des échanges de chaleur entre les parois des cylindres et la vapeur, échanges sur lesquels repose en partie la théorie due à Hirn, a été découvert par Thomas et démontré expérimentalement par lui tant au moyen des diagrammes d'indicateur que par celui du cylindre en verre du modèle de machine à vapeur.

Du reste, notre intervention avait eu le résultat que nous cherchions. En effet, M. Dwelshauvers-Dery, dans son *Étude expérimentale calorifique de la machine à vapeur*, parue en 1892 dans l'Encyclopédie Leauté, met en tête de la bibliographie qui termine l'ouvrage le nom de Thomas et cite le cours lithographié de machines à vapeur de l'École Centrale pour 1851-52 avec la mention : « Depuis 1837-38, ce cours renferme une explication claire et précise des condensations intérieures. » Il est à regretter que l'exemple, si honorable pour son auteur, donné par M. Dwelshauvers-Dery, n'ait pas eu plus d'imitateurs, car nous voyons encore aujourd'hui trop d'écrivains faire commencer à Hirn la constatation de l'action des parois, tout comme ils le font pour la surchauffe, ainsi que nous l'avons montré plus haut.

Nous n'avons, pour notre part, jamais laissé passer une occasion d'affirmer les titres de Thomas à ce sujet et de rappeler que la découverte de la sensibilité au calorique des parois des cylindres lui est due sans conteste et qu'il enseignait à l'École Centrale une théorie basée sur les échanges de chaleur dus à cette sensibilité plus de quinze ans avant que cette question fût abordée par Hirn.

Il y a également là pour l'enseignement de l'Établissement, où tant de nos collègues et nous-mêmes avons fait notre éducation d'ingénieur, un titre de gloire qu'on ne doit pas oublier.

M. Dwelshauvers-Dery, dans la note dont nous venons de parler, fait l'observation suivante, que nous ne saurions passer sous silence : : « Je suis autorisé à m'étonner qu'il n'ait pas été tiré meilleur parti du cours lithographié de Thomas par ceux qui en connaissaient l'existence. » Cette observation est très juste et nous en verrons tout à l'heure une application, mais ne pourrait-on s'étonner aussi de voir que la note de Thomas et Laurens, du *Journal des Usines*, note qui n'avait pas, elle, le caractère en

quelque sorte intime d'un cours lithographié à l'usage d'une école, ait été ignorée pendant si longtemps de ceux qui s'occupaient de la question même que traitait cette note? A ce point de vue, il nous paraît utile de faire connaître l'incident suivant :

Au commencement de 1889, Hirn reçut de Laurens, un fascicule du *Journal des Usines* d'octobre 1841, fascicule contenant la note sur les enveloppes dont il a été question précédemment. Cet envoi était motivé, croyons-nous, par une mention figurant au procès-verbal d'octobre 1888 de la *Société Industrielle de Mulhouse*, mention ainsi conçue : « Communication de M. Donkin sur un appareil en verre qu'il applique sur les cylindres à vapeur pour rendre visibles les phénomènes de condensation et d'évaporation, tels qu'ils avaient été prévus par les remarquables travaux de M. G. A. Hirn ». On conçoit que Laurens ait tenu à rappeler que ces phénomènes avaient été signalés par Thomas et lui presque cinquante ans auparavant et rendus visibles à l'aide d'un appareil en verre. Le savant alsacien envoya cette note au Comité de la *Société Industrielle de Mulhouse*, avec une lettre qui fut insérée dans le procès-verbal de la séance du Comité de mécanique du 22 mai 1889, page 55. Cette lettre, dit le procès-verbal, témoigne une fois de plus des sentiments d'équité absolue de M. Hirn; on y a ajouté la partie la plus essentielle de l'exposé si clair présenté par les auteurs de cette note.

Voici la lettre de Hirn : « J'ai lu avec le plus extrême intérêt le numéro du *Journal des Usines*, paru en 1841, où M. Laurens expose le mode d'action de l'enveloppe de vapeur de Watt et où il explique l'économie dérivant de cette action. L'interprétation de M. Laurens est très correcte et très claire au point de vue de la saine physique, que l'on perd trop souvent de vue dans la construction de la machine à vapeur. Lorsqu'en 1854 j'ai présenté à notre Société mon premier travail sur la machine à vapeur, je ne connaissais que les essais de mon ami Combes (1843). Je ne puis donc qu'exprimer le regret très vif de n'avoir pas eu en mains le petit travail de M. Laurens. Non seulement j'aurais rendu justice avec joie à qui de droit, mais, avec un pareil premier jalon devant moi, j'aurais pu procéder beaucoup plus rapidement dans les expériences pénibles de recherches auxquelles j'ai eu à me livrer quant à la machine à vapeur (1).

(1) En effet, Hirn, au début de ses recherches, attribuait la quantité de vapeur manquant au cylindre à des fuites au piston ; ce n'est qu'ensuite, par voie expérimentale qu'il est arrivé à constater l'action des parois.

Je puis me permettre, en effet, de faire remarquer que l'étude de l'enveloppe de vapeur n'est en quelque sorte qu'un cas particulier du grand problème qu'ont étudié nos ingénieurs alsaciens en partant du principe rigoureux de la thermodynamique, problème que l'on peut résumer sous le titre général : *Étude de l'action des parois métalliques dans les moteurs caloriques, considérées comme réservoirs positifs et négatifs de chaleur.*

» Notre Société se rappelle à quelles vives discussions ont donné lieu nos travaux sur cette belle et grande question. Aujourd'hui, la question a été, sous l'une de ses faces du moins, inopinément tranchée par l'emploi de l'ingénieux instrument imaginé par M. Donkin et présenté par lui à notre Société. Cet instrument, que son inventeur a encore perfectionné depuis l'année dernière et que j'appellerai, sans aucun esprit d'exagération, le *révélateur Donkin*, cet instrument montre aux esprits les plus récalcitrants l'instantanéité de l'action des parois de nos cylindres. »

Le procès-verbal ajoute : « Chacun s'associera aux regrets exprimés par M. Hirn sur le peu de publicité qu'à rencontrée cette note qui expose clairement l'utilité des enveloppes; c'était un appel à revenir à la saine pratique suivie par Watt qui avait adopté cette enveloppe dès l'origine. La question de priorité ne saurait donc se poser. »

Ce qui précède appelle quelques observations.

Tout d'abord, nous devons nous associer aux appréciations du Comité de mécanique de la Société de Mulhouse sur les sentiments d'équité témoignés par Hirn et sur la justice qu'il rend aux auteurs de la note du *Journal des Usines*, en termes aussi honorables pour ceux-ci que pour lui. Peut-être pourrions-nous nous étonner que Hirn ait passé sous silence le nom de Thomas pour ne s'attacher qu'à celui de Laurens, car, puisque Hirn cite le travail de 1843 de son ami Combes, il ne pouvait ignorer la part — insuffisante, selon nous, mais cependant la part — que ce savant ingénieur attribuait dans ce travail à Thomas relativement à la question qui nous occupe; nous ne saurions toutefois attacher d'importance à cette confusion certainement involontaire, étant donné le caractère si noble et si élevé de Hirn. Mais nous ne pouvons dissimuler le regret que nous éprouvons de constater l'omission malheureuse que le Comité a faite, dans sa citation de la note du *Journal des Usines*, de la partie concernant l'expérience de la machine à vapeur à cylindre en verre. Hirn ne

paraît pas, pour sa part, avoir lu jusqu'au bout cette note, car, autrement, on ne s'expliquerait pas qu'il eût pu parler dans les termes que nous venons d'indiquer de l'appareil qu'il appelle le révélateur Donkin, sans rappeler, tout au moins, qu'il y avait un précédent intéressant dans l'expérience de Thomas sur la machine à cylindre en verre indiquée dans l'article du *Journal des Usines*, expérience destinée à montrer l'instantanéité de l'action des parois du cylindre. La relation entre les deux faits semble d'autant plus évidente que Donkin suivit, de 1854 à 1856, les cours de l'École Centrale et dut nécessairement y voir l'expérience de Thomas.

Nous avons signalé plus haut le silence gardé par le procès-verbal du Comité de Mécanique sur l'expérience de Thomas avec la machine à cylindre en verre. Ce silence n'aurait-il pas quelque rapport avec l'exposé que fait plus loin le même procès-verbal de l'appareil de Donkin? Nous n'insisterons pas, mais nous croyons pouvoir critiquer la rédaction de ce procès-verbal, qui semble ne voir dans la note du *Journal des Usines* qu' « un appel à revenir à la saine pratique suivie par Watt, qui avait adopté l'enveloppe dès l'origine » alors que l'envoi de cette note est une revendication en faveur des auteurs de la première constatation des phénomènes de condensation et d'évaporation dont l'usage de l'enveloppe doit combattre les fâcheux effets. Les termes même de la lettre de Hirn reconnaissent la justesse de cette revendication. La question de priorité, qui d'après le procès-verbal, ne saurait se poser, se trouve donc très nettement résolue en faveur de Thomas et Laurens.

La lettre de Hirn de 1889 indique en tout cas qu'il n'avait eu aucune connaissance de la polémique courtoise engagée en 1880 entre M. Dwelshauvers-Dery et nous au sujet de Thomas et de son cours, bien que cette polémique se fût produite dans des publications aussi répandues que la *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie* et le *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*. Mais ce qu'il y a peut-être de plus étonnant, c'est qu'aucun des anciens élèves de l'École Centrale en résidence en Alsace et qui devaient être, au moins quelques-uns, en rapport avec Hirn, ne lui ait parlé des indications données par Thomas à son cours et ne lui ait, comme le dit Hirn lui-même, rendu service en lui permettant, grâce à ce jalon, de procéder beaucoup plus rapidement dans ses recherches. C'était une belle occasion pour les anciens élèves auxquels nous faisons allusion de tirer parti du

cours lithographié de Thomas, dont ils ne pouvaient ignorer l'existence. L'observation de M. Dwelshauvers-Dery, que nous avons citée précédemment, peut s'appliquer particulièrement à ce cas.

Si nous avons tenu à mettre en lumière le rôle joué par Thomas dans la question de l'action des parois, c'est-à-dire des échanges de chaleur entre la vapeur et le métal du cylindre, nous n'avons nullement voulu exagérer ce rôle, ne cherchant que la vérité ; nous pouvons donc nous associer à l'appréciation qu'a bien voulu nous donner à ce sujet l'éminent professeur de Liége dont nous venons de citer le nom.

« Malgré tout son mérite, malgré la publicité (restreinte, cependant) du cours lithographié de l'École Centrale, malgré le remarquable article du *Journal des Usines*, en 1841, l'œuvre de Thomas est restée regrettablement sans fruit, déplorablement méconnue, non poursuivie ni mise à profit par les auteurs mêmes, Thomas et Laurens. »

Le fait s'explique facilement. Nos distingués et regrettés collègues n'étaient pas des physiciens, c'étaient des ingénieurs et des ingénieurs-constructeurs, les recherches scientifiques leur étaient interdites par leurs occupations pratiques. S'ils n'ont pas poussé plus loin l'étude théorique de l'enveloppe, ils ont eu du moins le mérite, avec notre grand constructeur Farcot, d'en répandre l'emploi même sur les machines sans condensation, pour lesquelles on les croyait généralement inutiles, et d'introduire divers perfectionnements aux machines à vapeur. Leur rôle dans cette question, comme dans bien d'autres branches de l'industrie, a été considérable, il est à peine besoin de le rappeler ici.

On sait comment l'œuvre si largement commencée par Hirn a été poursuivie par son école ; nous voudrions indiquer au moins sommairement les beaux travaux de ses collaborateurs, Leloutre, Hallauer, Grosseteste, Dwelshauvers-Dery, tous membres de notre Société et de bien d'autres, parmi lesquels nous tenons à citer M. Boulvin, le distingué professeur de Gand, qui ont poursuivi expérimentalement ou théoriquement les recherches sur l'action des parois, mais ces travaux rentrent dans le cadre de l'histoire comtemporaine, au seuil de laquelle nous devons nous arrêter.

NOTES

Note A.

Chaudière du fardier de Cugnot.

Nous n'avons pas encore tout dit sur les singularités que révèle l'étude de la voiture de Cugnot. Nous avons vu que, pour remplir la chaudière, comme il n'existe pas sur celle-ci d'autre orifice que celui où s'ajuste le tuyau de vapeur allant aux cylindres, il faudrait défaire le joint de ce tuyau.

Les personnes qui ont vu la machine au Conservatoire nous répondront qu'il existe sur la chaudière une boite contenant un robinet à plusieurs fins manœuvré par une longue tringle arrivant sous la main du conducteur assis sur un banc que porte ce chariot. Ce robinet sert à ouvrir ou fermer la communication entre la chaudière et les cylindres et peut aussi mettre la chaudière en communication avec l'extérieur par un orifice évasé percé à la partie supérieure. On pourrait donc remplir ainsi le générateur d'eau en supposant que la pression fut tombée. Ce robinet existe sur la machine et sur le modèle construit en 1851 par Bourbouze et qui se trouve dans les galeries du Conservatoire.

Mais ce qu'il y a de curieux, c'est que cette pièce ne figure pas sur les dessins conservés au Portefeuille et datant de 1839 à 1840, dessins faits, nous a-t-on dit, d'après des calques (?). Le tuyau y est directement fixé sur le haut de la chaudière (1). Ce n'est pas tout. Dans le dossier où se trouvent ces dessins figure un calque ancien et en médiocre état portant l'inscription : « Calque trouvé dans les papiers de M. de Vallières ». Sur ce calque est figurée la boite à robinet avec tringle de manœuvre dont nous venons de parler. Mais, autre singularité, la machine qui y est représentée diffère de la machine exécutée par divers détails; ainsi, les cylindres, au lieu d'être verticaux, sont inclinés sur la verticale, légèrement, mais assez pour qu'il ne s'agisse pas d'une erreur de dessin; la cheville ouvrière sur

(1) Il en est de même sur une vue du fardier de Cugnot donnée dans l'*Illustration* du 9 novembre 1850, page 290, et évidemment dessinée d'après nature.

laquelle tourne l'avant-train portant l'appareil moteur présente aussi de notables différences avec la machine exécutée.

Nous ne pouvons que signaler ces faits sans essayer d'en donner d'explications. La conclusion à en tirer est qu'il resterait beaucoup de recherches à faire à propos de la voiture de Cugnot et que le mystère qui l'entoure ne sera probablement jamais éclairci.

Note B.

Explosion d'une chaudière de bateau en 1838 en Angleterre.

L'explosion survenue en Angleterre, presque à la même époque (1838), d'une chaudière du même système, fit une grande impression. C'étaient les chaudières du steamer *Victoria*, de la ligne de Londres à Hull ; elles étaient formées de longs cylindres contenant chacun un foyer carneau intérieur ayant le même axe, de sorte que l'intervalle (trois pouces seulement) était le même tout autour. On supposait que cet espace annulaire serait toujours plein d'eau et le niveau devait être notablement au-dessus du cylindre dans un très petit dôme dont chaque chaudière était surmontée. Il y avait aussi dans le foyer un petit bouilleur longitudinal plein d'eau rattaché à la partie supérieure du carneau par des tubes servant à la circulation de l'eau. Il est facile de voir que la surface d'émersion de la vapeur n'était que la surface de l'eau dans le dôme.

Le public ne sut pas apprécier quels étaient les défauts du système ; il fut de suite prévenu contre les chaudières cylindriques et on les condamna comme moins sûres que les vieilles chaudières en parallélipipède. *(Nouvelles machines à vapeur marines*, par Bramwell et Mallet, Paris, 1873, page 10.)

Note C.

Idées en cours sur la haute pression en 1839 en Angleterre.

Les idées étaient les mêmes à cette époque, en Angleterre, dans les régions officielles au sujet de la haute pression. En 1839, dans une enquête parlementaire sur les accidents de navires à vapeur, des constructeurs éminents posèrent comme démontré par l'expérience qu'il n'y avait aucune économie à employer de la vapeur à haute pression, que tout l'avantage qu'on pouvait en

retirer était un peu plus d'effet, à poids égal, mais au prix d'une plus grande dépense de combustible. On disait en même temps qu'il était impossible de construire des chaudières à haute pression dans des conditions convenables de fonctionnement, de durée et de sécurité.

Ces assertions de plusieurs de nos distingués prédécesseurs montrant que, dans leur opinion, on était déjà arrivé à la perfection, il y a vingt-cinq ans, doivent nous faire voir le danger qu'il peut y avoir à assigner une limite absolue au progrès dans une branche de la science de l'Ingénieur. (*Nouvelles machines à vapeur marines*, par Bramwell et Mallet, Paris, 1873, page 49.)

Note D.

La condensation par surface en Angleterre.

On peut encore citer le fait suivant : « Un des premiers cas où on ressuscita la condensation par surface se rencontra sur des bateaux faisant le service entre Bristol et les ports du Pays de Galles. Ces bateaux avaient, il y a vingt ou vingt-cinq ans (1850 environ) des machines pour ainsi dire à moitié à haute pression, c'est-à-dire travaillant avec de la vapeur à 3 à 3,5 kg de pression effective et sans condensation; mais, comme les eaux de l'Avon, du canal de Bristol et des rivières du Pays de Galles, qui sont périodiquement douces et salées en même temps que vaseuses, étaient très mauvaises pour l'alimentation de ces chaudières, il fallut trouver le remède. On chercha à tourner la difficulté en mettant dans les bateaux des caisses à eau douce pouvant suffire à une marche de deux heures à deux heures et demie; mais on y renonça bientôt pour employer des condenseurs à surface, non pas pour produire du vide, mais simplement pour condenser la vapeur d'échappement et la faire servir à l'alimentation. La circulation de l'eau dans ces condenseurs se faisait par la marche même du bateau au moyen d'ouvertures percées dans le bordé et communiquant avec le condenseur pour l'entrée et la sortie de l'eau. (*Nouvelles machines à vapeur marines*, par Bramwell et Mallet, Paris, 1873, page 13.) (1).

(1) On trouve dans l'*Artizan*, de 1857, page 188, une note qui se rapporte à ce sujet. Il y est question d'un bateau, le *Neath Abbey*, appartenant à la Compagnie métallurgique de ce nom et faisant le service entre Bristol et Neath. Ce bateau porte un condenseur à surface qui fonctionne depuis sept ans très régulièrement. L'eau passe dans les tubes et la vapeur circule autour, à l'inverse de ce qui se passait dans le condenseur de Hall.



Note E.

Essais de Zander en 1841 sur un bateau de la Tamise.

Une erreur dans la mise en page nous oblige de donner ici quelques renseignements qui auraient dû trouver place dans la partie réservée à la surchauffe intermédiaire.

En juin 1839, un Ingénieur suédois, Henrik Zander, prit une patente en Angleterre pour des perfectionnements dans les machines à vapeur consistant dans l'emploi de l'expansion multiple réalisée avec deux ou trois cylindres combiné avec celui d'un réservoir intermédiaire chauffé et de dispositions accessoires.

A la fin de 1840, ces arrangements furent appliqués par Zander sur un bateau nommé l'*Era* faisant le service de la Tamise en amont du Pont de Londres; l'appareil moteur avait été construit par Spiller, à Battersea; la chaudière était du système à tubes d'eau indiquée sous ce nom page 292. La vapeur, à la pression de 2,8 kg effectifs, travaillait dans le premier cylindre, avec une certaine détente, puis passait dans un réservoir intermédiaire placé sur la chaudière et réchauffé par la vapeur.

De là, celle-ci passait dans le second cylindre et s'échappait enfin dans un condenseur avec refroidissement de l'eau d'injection, disposition dont (à moins que ce ne fût à titre d'expérience) on ne comprend pas beaucoup l'emploi pour un bateau de rivière. Les cylindres avaient 0,432 m et 0,737 m de diamètre et 0,508 m de course; leurs pistons actionnaient des manivelles à 90 degrés.

La vapeur était détendue à 9 volumes; les roues faisaient en moyenne 33 tours par minute.

L'*Era* était un bateau de 25,90 m de longueur, 3,65 m de largeur et 0,76 m de tirant d'eau moyen. Il fut mis en service régulier au commencement de 1841.

Le *Mechanic's Magazine*, vol. XXXVII, deuxième semestre de 1841, donne des descriptions, malheureusement très peu claires, des machines de l'*Era*, mais, ce qui est plus intéressant, un tableau, à la page 359, contenant les données principales et les résultats de l'*Era* et de sept autres bateaux faisant le même service, tous ayant à très peu près les mêmes dimensions et des

moteurs de même puissance ; seulement leurs chaudières fonctionnaient à des pressions de 0,50 à 0,70 kg effectifs, au lieu de 2,8 kg, pression que nous avons indiquée pour l'*Era*.

Ce dernier est donné comme brûlant 450 kg de coke en quatorze heures, soit 32,2 kg à l'heure, ce qui, pour une puissance de 24 ch, représenterait 1,33 kg par cheval-heure, allumage et stationnements compris, chiffre évidemment très peu élevé. Les autres bateaux donnent des valeurs doubles et triples.

Cette application présente un grand intérêt en ce qu'elle comprend un ensemble de dispositions nouvelles; elle offre une grande analogie, à ce point de vue, avec celle que fit en 1860 B. Normand sur le *Furet*. Cette dernière a été en France le point de départ d'un progrès permanent dans les machines marines ; il n'en fut pas de même, en Angleterre, nous ignorons pourquoi, de la tentative de Zander, antérieure de vingt ans, bien que, d'après Bramwell, l'*Era* ait fait un bon service pendant plusieurs années.

Note F.

Anciennes patentes anglaises relatives a la surchauffe de la vapeur.

Pendant la composition de ce travail, nous avons reçu de notre collègue, M. Ch. R. King, communication d'une liste relevée par lui au *Patent Office* d'anciennes patentes anglaises relatives à la surchauffe de la vapeur. Nous croyons intéressant de la reproduire ici comme de nature à fournir un utile complément de renseignements (1).

Année 1786 Hately, Patente 895. — Tuyaux ouverts aux deux extrémités, conduisant le feu à travers la vapeur pour la chauffer une seconde fois avant son entrée aux cylindres. Les tuyaux conduisant la vapeur de la chaudière au cylindre peuvent aussi passer à travers le feu.

Année 1787, Symington n° 1610. — Les gaz du foyer passent dans un conduit en spirale disposé autour du cylindre pour le chauffer.

(1) Nous avons laissé de côté de cette liste les patentes relatives à la production instantanée de la vapeur et celles relatives à la surchauffe dont nous avons parlé déjà au cours de ce travail.

Année 1791. Mead n° 1822. — La vapeur est surchauffée dans une partie du foyer. Le patenté revendique le chauffage et la dilatation de la vapeur après sa sortie de la chaudière.

Année 1804. Arthur Woolf n° 2772. — Surchauffage de la vapeur du réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. La vapeur passe du petit au grand cylindre à une température supérieure à celle du petit, de sorte que sa faculté d'expansion est plus grande. Il y a un foyer séparé sous le réservoir intermédiaire. Le patenté dit avoir d'abord essayé ces dispositions et les avoir ensuite fait passer dans la pratique.

Année 1805. Miller n° 2887. — Injection d'eau dans des tubes placés dans le foyer ; la vapeur circule dans d'autres tuyaux placés de même ou est chauffée dans une chaudière spéciale.

Année 1800. English N° 3280. — Vapeur passant dans des tuyaux chauffés au rouge dans le foyer. Le patenté revendique une économie d'eau et de combustible.

Année 1812. Fox et Lean n° 3621. — Les gaz perdus de la combustion chauffent le réservoir de vapeur.

Année 1813. Donkin n° 3645. — Le tuyau de vapeur traverse le foyer.

Année 1816. Neville n° 4056. — Tuyau de vapeur passant dans le foyer.

Année 1821. Congreve n° 4593. — Surchauffe de la vapeur par des métaux en fusion.

Année 1826. Lorent. — Surchauffeur placé dans le foyer. Le patenté propose aussi l'emploi d'agents chimiques pour élever la température de la vapeur.

Année 1830. Haycraft n° 5942. — Surchauffe de la vapeur dans son passage de la chaudière au cylindre et chauffage du cylindre par un foyer séparé.

Note G.

Extrait du cours de machines a vapeur de l'École Centrale.

Le cours lithographié de machines à vapeur de l'École Centrale pour 1851-1852 par Thomas, lequel n'a d'ailleurs été publié qu'en partie, ne pouvant être trouvé aujourd'hui que très difficilement, nous croyons utile d'en reproduire le chapitre relatif à l'action

des parois, portant le titre : *Condensation intérieure au cylindre* (pages 49 à 53) :

« Nous savons que la vapeur se condense spontanément par son contact avec un corps froid. Au moment où l'on met en train une machine, le cylindre est froid et il s'opère une condensation de vapeur, contre toute sa surface et contre celle du piston, qui ne cesse que lorsque ces surfaces ont acquis la température de la vapeur arrivant de la chaudière ; cette condensation donne naissance à la formation d'une multitude de gouttelettes d'eau qui recouvrent toutes les parties du cylindre, ainsi que la face du piston en contact avec la vapeur.

» Lorsque le piston arrivé au bout de sa course est sur le point de changer de direction, la lumière d'échappement s'ouvre et met l'intérieur du cylindre en communication avec le condenseur; aussitôt, la pression de la vapeur s'abaisse et tombe presque instantanément à un huitième environ d'atmosphère ; par suite de cet abaissement de pression, les gouttelettes d'eau se vaporisent en dépensant d'abord leur propre chaleur et ensuite celle qu'elles empruntent aux parois qu'elles recouvrent, de telle sorte que ces parois éprouvent un abaissement de température correspondant à l'abaissement de tension, c'est-à-dire qu'elles tombent elles-mêmes à une température d'environ 50 degrés.

» La vapeur nouvelle, arrivant pour agir sur le piston au coup suivant, trouve le cylindre refroidi à cette température de 50 degrés environ et il s'en condense une nouvelle quantité suffisante pour ramener ses parois au degré qu'elle possède elle-même. Cet effet se répète à chaque coup, indéfiniment, tant que la machine fonctionne. Si la vapeur possède 4 atmosphères ou 144 degrés de température dans le cylindre, à chaque montée ou descente du piston toutes les surfaces touchées par elle s'élèvent à la température de 144 degrés et la perdent, à la descente ou montée suivante, pour s'abaisser à celle de 50 degrés.

» Lorsque la machine est sans condensation, les parois du cylindre ne s'abaissent à chaque coup qu'à 100 degrés au lieu de s'abaisser à 50 degrés.

» Il est très difficile, si ce n'est impossible, de déterminer théoriquement la perte de chaleur résultant de cette condensation suivie à chaque coup d'une évaporation, action par suite desquelles une portion de l'épaisseur du cylindre prend inutile-

ment, deux fois par tour du volant, une température élevée qu'elle perd immédiatement après ; il faudrait avoir égard à la conductibilité de la fonte, conductibilité qui n'est pas rigoureusement connue.

» D'après quelques expériences du professeur, la vapeur arrivant dans le cylindre déposerait à chaque coup, par sa condensation, sur toutes les surfaces en contact avec elle, une couche d'eau d'un cinquantième de millimètre d'épaisseur, pour une différence moyenne d'environ 70 degrés entre sa température et celle de la vapeur se dégageant dans le condenseur; cette épaisseur correspond à un poids de 0,02 kg de vapeur condensée par mètre carré. Une telle condensation constitue une perte considérable à cause du grand nombre de fois qu'elle se reproduit par heure. Une machine de manufacture de 25 ch fonctionne généralement à trente tours ou soixante coups simples par minute et une machine locomotive dépasse quelquefois le nombre de cinq cents coups simples; le phénomène que nous venons d'expliquer se renouvelle donc cinq cents fois par minute dans ces dernières machines.

» Il est presque certain, et nous admettons comme vrai, que la quantité de vapeur condensée est proportionnelle à la différence moyenne de température entre le dessus et le dessous du piston, c'est-à-dire entre la température de la vapeur qui agit et celle de la vapeur en communication avec le condenseur ou l'atmosphère. Appelons P le poids de vapeur condensée par coup simple, D cette différence moyenne de température, d le diamètre du cylindre, l sa hauteur ou plutôt la longueur de la course, S la surface des conduits de vapeur depuis l'appareil distributeur jusqu'aux deux extrémités du cylindre, enfin d' le diamètre de la tige du piston, on aura, d'après les expériences citées :

$$P = 0{,}02 \times \frac{D}{70}\left(S + \frac{\pi d^2}{2} + \pi d l\right) + \frac{1}{2}\pi d' l$$

pour une montée ou une descente du piston, $\frac{\pi d^2}{2}$ représente la surface du piston et celle du fond ou du couvercle, $\pi d l$ la surface verticale du cylindre et $\pi d' l$ celle de la tige ; il faut diviser $\pi d^2 l$ par 2, parce que la tige ne plonge que moitié du temps dans le cylindre.

» N indiquant le nombre de tours par minute, le poids de vapeur Q condensée par heure s'exprimera par :

$$Q = 0{,}02 \times \frac{D}{70}\left(S + \frac{\pi d^2}{2} + \pi dl + \frac{1}{2}\pi d'l\right) 2N \times 60.$$

» Faisons observer que cette perte devient moindre lorsque les machines fonctionnent à une plus grande détente, car la température moyenne de la vapeur pressant le piston diminue à mesure que la détente augmente. On fait maintenant des machines qui détendent à un tel point qu'à la fin de la course la vapeur ne conserve plus sur le piston qu'une tension très peu supérieure à celle du condenseur ou de l'atmosphère; il en résulte que l'eau condensée au commencement de la course se vaporise vers la fin; la vapeur formée par cette vaporisation agit sur le piston, mais elle produit un effet utile moindre que si elle provenait de la chaudière.

» On parvient à éviter presque complètement la condensation intérieure en maintenant les parois du cylindre à la température de la vapeur arrivant de la chaudière; pour cela, on entoure le cylindre, son fond et son couvercle d'une enveloppe que l'on tient en communication avec la chaudière et dans laquelle on fait circuler la vapeur avant son entrée dans la boîte de distribution. On a plusieurs fois proposé d'y faire passer la fumée du fourneau de la machine, mais l'emploi bien plus simple de la vapeur est de beaucoup préférable.

» L'explication qui précède des effets produits par la condensation dans l'intérieur des cylindres a été donnée pour la première fois aux élèves de l'année 1837-1838 (1). »

Note H.

Appareil révélant les condensations intérieures aux cylindres.

Dans la discussion qui suivit la communication faite le 8 février 1859, à l'*Institution of Civil Engineers*, sur les machines à vapeur combinées de Du Tremblay (voir vol. XVIII, page 284

(1) Nous avons vu que ce cours lithographié n'avait jamais paru qu'en partie. Ne pourrait-on pas l'expliquer par ce fait que Thomas et Laurens se proposaient de publier un *Traité des machines à vapeur?* On trouvera en effet ce titre avec leur nom et la mention *en préparation* dans le catalogue d'un éditeur de Paris (Langlois et Leclercq, croyons-nous) vers 1852 ou 1853. Cet ouvrage n'a jamais paru.

des *Proceedings*), E. A. Cowper, après avoir parlé des phénomènes de condensation et de revaporisation qui se produisent dans les cylindres, dit que ces phénomènes sont mis en évidence de la manière la plus concluante par une expérience qui lui a été montrée, il y a quelques années, par M. Appold (l'auteur d'une pompe centrifuge très connue exposée à Londres en 1851). Un bout de tube de niveau d'eau en verre fermé à une de ses extrémités, est relié au cylindre d'une machine à vapeur, par un coude muni d'un robinet.

La communication étant établie, on voit, à chaque coup de piston, la vapeur se condenser sur le verre au commencement de la course et se vaporiser à la fin. Si on chauffe le verre extérieurement à la température de la vapeur, il ne se produit pas de condensation, mais, si on cesse le chauffage, l'effet signalé plus haut se reproduit bientôt.

Il est évident qu'aucune application sur le verre de feutre ou autre matière non conductrice ne peut prévenir cette condensation.

E. A. Cowper a donné les mêmes explications, la même année, à l'*Institution of Mechanical Engineers*, à l'occasion de la communication de John Penn sur la surchauffe, dont nous avons parlé, et il a caractérisé les phénomènes qui se passent dans les cylindres sous une forme pittoresque en disant que le cylindre joue le rôle de condenseur au commencement et de chaudière à la fin de la course.

Enfin, on trouve une note très succincte sur la même expérience, sans indication d'origine et de nom, dans l'*Artizan*, année 1860, page 83. Or, c'est vingt-huit ans plus tard qu'a paru l'appareil de Donkin. Il est intéressant de rappeler à ce sujet que, dans une note parue dans le Bulletin de la *Société Industrielle de Mulhouse* 1889, page 130, sur son appareil révélateur, Donkin dit qu'il a employé dans le même but, il y a vingt ans, des tubes de niveau d'eau en verre, mais que les indications n'étaient pas assez visibles. Ce serait donc vers 1869, c'est-à-dire dix ans après les observations de E. A. Cowper.

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE. — **Condensation par surface.**

TROISIÈME PARTIE. — **Surchauffe de la vapeur.**

QUATRIÈME PARTIE. — **Enveloppes de vapeur.**

(1) Cette question est traitée dans la note E.

CINQUIÈME PARTIE. — **Action des parois.**

Le Secrétaire Administratif, Gérant,

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS — 14118-8-08. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'OCTOBRE 1908

N° 10

OUVRAGES REÇUS

Pendant les mois d'août, septembre et octobre 1908, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

Liste générale des Fabriques de Sucre, Raffineries et Distilleries de France, d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie, de Russie, de Belgique, de Hollande, d'Angleterre et de diverses Colonies, etc. Quarantième année de publication. Campagne 1908-1909 (in-18, 155 × 105 de 396 p.). Paris, 160, Boulevard de Magenta, 1909. 45566

Ministère de l'Agriculture. Annales. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles. Documents officiels. Jurisprudence. Rapports et Notes techniques. Fascicule 34 (in-8°, 280 × 180 de 392 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1906. 45534

Astronomie et Météorologie.

Annuario publicado pelo Observatorio do Rio de Janeiro para o anno do 1908. Anno XXIV. (Ministerio da Industria, Viação e Obras publicas) (in-8°, 180 × 130 de x-353 p.). Rio-de-Janeiro, Imprensa Nacional, 1908. 45554



Chemins de fer et Tramways.

Alibome Sooroujenii Moskovskoi Okroujnoi Jeliéзndoroghi 1903-1908 (atlas. 310 × 170). Saint-Pétersbourg. (Don de M. J. Tourtsevitch, M. de la S.) 45594

Estadistica de los Ferrocarriles en explotacion. Tome XV. Ano 1906 (Ministerio de Obras publicas. Direccion de Vias de Comunicación. República Argentina) (in-8°, 285 × 190 de LXVIII-301 p., avec 1 carte). Buenos-Aires, Talleres Gráficos de la Penitenciara Nacional, 1907. (Don de M. Duprat, M. de la S.) 45604

LAUNAY (G.-M. DE). — *Le Chauffage économique des Locomotives*, par G.-M. de Launay (in-8°, 210 × 130 de 56 p., avec fig.). Paris, Weismann et Marx. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45558

The Universal Directory of Railways Officials. 1908. Compiled from Official Sources under the Direction of S. Richardson Blundstone (in-8°, 215 × 135 de 693 p.). London, The Directory Publishing Company, Limited. 45551

ZIFFER (E.-A.). — *Die Lokalbahnen in Galizien und der Bukowina im Anschlusse an die K. K. priv. Lemberg-Czernowitz-Jassy Eisenbahn*, von E.-A. Ziffer (in-4°, 335 × 255 de VIII-138 p., avec 67 pl. et 35 tabl.). Wien, Lehmann und Wentzel, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45527

Chimie.

LE CHATELIER (H.). — *Leçons sur le Carbone. La combustion. Les lois chimiques.* Professées à la Faculté des Sciences de Paris, par Henry Le Chatelier (in-8°, 255 × 165 de XIV-456 p., avec 54 fig.). Paris, Dunod et Pinat; A. Hermann, 1908. (Don de l'auteur.) 45611

SWARTS (F.). — *Cours de Chimie inorganique*, par Fréd. Swarts (in-8°, 250 × 160 de 706 p., avec 79 fig.). Paris, A. Hermann, 1908. (Don de l'éditeur.) 45571

Construction des Machines.

Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur du Nord de la France. Exercice 1907-1908. XXV° Bulletin (in-8°, 255 × 165 de 253 p.). Lille, L. Danel, 1908. 45573

Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur. Exercice 1907. 32° année (in-8°, 240 × 160 de 79 p.). Lyon, A. Rey, 1908. 45592

CARLIER (J.) ET CHAMPLY (R.). — *Les Automobiles Sizaire et Naudin*, par J. Carlier et R. Champly (in-8°, 215 × 135 de 96 p., avec fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45539

Champly (R.). — *Les Automobiles Delahaye*, par René Champly (in-8°, 215 × 135 de 198 p., avec 101 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45538

Champly (R.). — *Les Moteurs Aster. Notice théorique et pratique*, par René Champly (in-8°, 215 × 135 de 96 p., avec fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45540

Champly (R.).— *Les Voitures légères « Prima ». Notice théorique et pratique sur leur conduite et leur entretien*, par René Champly (in-8°, 215 × 135 de 174 p., avec fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45541

Jet de sable. Appareils « Le Simoun », Système G. Franche. Société anonyme des Établissements Ph. Bonvillain et E. Ronceray (in-8°, 245 × 155 de 14 p., avec 10 fig.). Paris, Imprimerie P. Maguin. (Don de M. Ph. Bonvillain, M. de la S.). 45509

Marchis (L.). — *La Vapeur d'eau surchauffée*. Leçons faites en 1907-1908 à la Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux, par L. Marchis (in-4°, 265 × 200 de 30-733 p., avec 352 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45589

Nouveau Règlement sur les Générateurs et Récipients à vapeur d'eau fonctionnant à terre et Indications d'ordre général sur l'exécution du Règlement (in-8°, 210 × 130 de 132 p.). Paris, E.-A. Fayolle, 1908. (Don de l'éditeur.) 45544

Sothern (J.-W.). Izart (J.). — *Les Turbines à vapeur marines*, par J.-W. Sothern. Traduit et adapté d'après la seconde édition anglaise, par J. Izart (in-8°, 255 × 165 de VIII-176 p., avec figures et 2 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45586

Éclairage.

Chevalet (F. et L.). — *Laveur à naphtaline. Production de la naphtaline dans le barillet*, par F. et L. Chevalet (Extrait du 35e Congrès de la Société technique de l'Industrie du Gaz en France, tenu à Paris les 23, 24, 25 et 26 juin 1908) (in-8°, 240 × 160 de 12 p., avec 2 fig.). Paris, P. Mouillot, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45596

Économie politique et sociale.

Chambre de commerce de Rouen. Compte rendu des Travaux pendant l'année 1907 (in-4°, 250 × 190 de 492 p., avec tableaux). Rouen, Imprimerie Lecerf fils, 1908. 45526

Compte rendu des Travaux de la Chambre de commerce de Paris. Année 1907 (in-8°, 280 × 180 de 744 p.). Paris, Imprimerie Motteroz et Martinet, 1908. 45546

Conseil supérieur du Travail. Dix-septième session. Novembre 1907. Compte rendu (Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale) (in-4°, 265 × 210 de XVI-220 p. à 2 col.). Paris, Imprimerie Nationale, 1908. 45508

Oesterreichisch-Ungarische Handelskammer in Paris (Chambre de Commerce Austro-Hongroise de Paris). *Rechenschaftbericht 1907* (in-8°, 240 × 155 de 101 p. Paris, Imprimerie Nouvelle, 1908. 45608

Tableau général du Commerce et de la Navigation. Année 1907. Premier volume. Commerce de la France avec ses Colonies et les puissances Étrangères (République Française. Direction générale des Douanes) (in-4°, 365 × 280 de 120-825 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1908. 45584

Vibert (P.). — *La République d'Haïti. Son présent, son avenir économique*, par Paul Vibert (Théodore Vibert fils) (in-18, 190 × 115 de 360-vi p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1895. (Don de l'auteur.) 45516

Vibert (P.). — *Les Industries nationales. Celles qui naissent et grandissent. Celles qui meurent ou se transforment.* Thèmes de Conférences, par Paul Vibert (Théodore Vibert fils) (La Concurrence étrangère) (in-8°, 255 × 165 de 386 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1895. (Don de l'auteur.) 45517

Vibert (P.). — *Les Transports par terre et par mer.* Documents pour servir à l'Histoire Économique de la Troisième République. Thèmes de Conférences, par Paul Vibert (Théodore Vibert fils) (La Concurrence étrangère). Tomes I et II (2 vol. in-8°, 255 × 165 de 470 p. et de 469 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1896-1897. (Don de l'auteur.) 45518 et 45519

Électricité.

Atti dell' Associazione Elettrotecnica Italiana. Indice Decennale diviso per Volume, per Autori e per Materie. Volumi I-al X. Anni 1897-1906 (in-8°, 270 × 185 de 52 p.). Milano, Tip. Lit. Rebeschini di Turati e C., 1908. 45535

Berthier (A.). — *La Téléphonie et la Télégraphie sans fil*, par A. Berthier (in-8°, 225 × 140 de vi-256 p., avec 104 fig.). Paris, H. Desforges, 1908. (Don de l'éditeur.) 45607

Graffigny (H. de). — *Guide-Manuel pratique de l'Ouvrier Électricien*, par H. de Graffigny. Troisième édition entièrement refondue et mise à jour (in-18, 190 × 130 de 515 p., avec 341 fig.). Paris, H. Desforges, 1909. (Don de l'éditeur.) 45605

Guarini (É.). — *Le Passé, le Présent et l'Avenir de la Télégraphie sans fil. La Télégraphie sans fil au Pérou*, par Émile Guarini (in-8°, 245 × 160 de 192 p., avec 366 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45537

Guarini (É.). — *Les Merveilles de l'Électro-Chimie. Son avenir au Pérou*, par Émile Guarini (in-8°, 245 × 160 de 152 p., avec 99 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45536

HOBART (H.-M.). ET ACHARD (F.). — *Génératrices électriques à courant continu*, par Henry-M. Hobart et F. Achard (in-8°, 285 × 180 de 275 p., avec 151 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45585

Instructions sur le Montage des Installations électriques. Rédigées par les Associations Françaises de Propriétaires d'Appareils à vapeur ayant un service électrique (Amiens, Lyon, Marseille, Mulhouse, Nancy), par l'Association des Industriels du Nord de la France (Lille) et l'Association Normande pour prévenir les Accidents (Rouen). Suivies des Décrets du 11 juillet 1907 sur la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques (in-8°, 185 × 105 de 55 p.). Édition 1907-1908. Nancy, Berger-Levrault et Cie. (Don des Services électriques des Associations de Propriétaires d'Appareils à vapeur.) 45556

JACOBSEN (J.-H.). — *Calcul électrique et mécanique des Distributions d'énergie*. Conférence faite le 5 juillet 1908 par J.-H. Jacobsen (Association amicale des anciens Élèves de l'École pratique d'Électricité industrielle) (in-8°, 240 × 160 de 40 p., avec 20 fig. et 2 pl.). Paris, Siège de l'Association. (Don de l'auteur.) 45572

MONIER (E.). BRANLY (Dr E.). — *La Télégraphie sans fil et la Télémécanique à la portée de tout le monde*, par E. Monier. Préface du Dr E. Branly. Quatrième édition mise à jour (in-16, 185 × 120 de VIII-178 p., avec 22 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45588

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. January to May 1907. Vol. XXVI. Part. I (in-8°, 245 × 155 de 936 p.). New-York, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1908. 45530

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. June to December 1907. Vol. XXVI. Part. II (in-8°, 245 × 160 de VIII-900 p.). New-York, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1908. 45591

Enseignement.

Annual Calendar of Mc Gill College and University Montreal. Session 1908-1909 (in-8°, 220 × 145 de LIV-422 p.). Montreal, Printed for University by the Gazette Printing C° Limited, 1908. 45507

Géologie et Sciences naturelles diverses.

MAGER (H.). — *Les Radiations des Corps minéraux. Recherches des Mines et des Sources par leurs radiations*, par Henri Mager (in-4°, 315 × 215 de 72 p., avec 66 phot.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don de l'auteur.) 45615

Législation.

Association amicale des Élèves et anciens Élèves de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie. Annuaire de 1908 (in-8°, 245 × 160 de 152 p.). Paris, Association amicale, 1908. 45559

Rules and List of Members of the Iron and Steel Institute. Corrected to July 1 1908 (in-8°, 215 × 135 de CXL p.). London, Published at the Offices of the Institute, 1908. 45548

TURPIN (E.). — *Eugène Turpin. Spoliation. Persecution et Haute Trahison. Pour la Patrie. Plainte aux Pouvoirs Publics.* Septembre 1908. Pontoise (Seine-et-Oise) (in-8°, 245 × 165 de 128 p., avec 1 phot.). Meulan-Hardricourt (Seine-et-Oise), Imprimerie Albert Maréchaux. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45613

Western Society of Engineers. Constitution, By-Laws, List of Officers and Members. July 1908 (in-8°, 225 × 150 de 96 p.). Chicago, Secretary's Office. 45552

Médecine, Hygiène, Sauvetage.

ADAM (P.). — *Rapport sur les opérations du Service d'Inspection des Établissements classés pendant l'année 1907.* Suivi du Résumé de la Période 1898-1907 présenté à M. le Préfet de Police, par M. Paul Adam (République Française. Préfecture de Police. 2e Division. Bureau d'Hygiène) (in-4°, 270 × 215 de 94 p.). Paris, Imprimerie Chaix, 1908. (Don de la Préfecture de Police.) 45574

Métallurgie et Mines.

Comité Central des Houillères de France. Annuaire. Houillères. Mines métalliques. Quatorzième année 1908 (in-8°, 220 × 135 de 891-96 p.). Paris, 55, Rue de Châteaudun, Mai 1908. 45515

Comité des Forges de France. Annuaire 1908-1909 (in-8°, 220 × 135 de LXVIII-831-IV-56 p.). Paris, 63, Boulevard Haussmann. 45609

DELECROIX (É.). — *Statistique des Houillères en France et en Belgique*, publiée sous la direction de Émile Delecroix. Janvier 1908 (in-8°, 255 × 165 de 556 p.). Lille, L. Danel. (Don de l'éditeur.) 45542

Jahrbuch für das Eisenhüttenwesen (Erganzung zu « Stahl und Eisen »). Ein Bericht über die Fortschritte auf allen Gebieten des Eisenhüttenwesens im Jahre 1904. Im Auftrage des Vereines deutscher Eisenhüttenleute, bearbeitet von Otto Vogel. *V. Jahrgang* (in-8°, 245 × 155 de XVI-448 p.). Düsseldorf, Kommission Verlag von A. Bagel, 1907. 45553



Recueils statistiques sur les Métaux, Plomb, Cuivre, Zinc, Etain, Nickel, Aluminium, Mercure et Argent, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A. G. (14e année, 1898-1907) (in-4°, 270 × 210 de xxviii-111 p.). Francfort-sur-Mein, Mars 1908. 45529

Stahl und Eisen. Gesamt-Inhaltswerzeichnis der Jahrgange 1 bis 26 (1881-1906). Im Auftrage des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. Bearbeitet von Franz Liebetanz (in-8°, 270 × 185 de xv-370 p. à 2 col.). Düsseldorf, Verlag Stahleisen M. B. H. 1908. 45543

Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Vol. XXXVIII. Containing the Papers and Discussions of 1907 (in-8°, 245 × 155 de LXIV-959 p., avec fig.). New-York, Published by the Institute, 1908. 45528

Transactions of the Australasian Institute of Mining Engineers. Volume XII (in-8°, 225 × 145 de 180 p., avec XVIII pl.). Melbourne, Published by the Institute, 1907. 45567

Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Seventeenth Session 1907-1908. Vol. XVII (in-8°, 215 × 140 de VIII-547 p.). London, E. and. F. N. Spon 45561

WATTEYNE (V.). — *Courrières et La Boule. Examen comparatif de deux grandes explosions de poussières,* par Victor Watteyne (Extrait des Annales des Mines de Belgique, tome XIII) (in-8°, 240 × 160 de 127 p., avec 16 fig. et 1 pl.). Bruxelles (Ix.), L. Narcisse, 1908. (Don de l'auteur.) 45531

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Association internationale permanente des Congrès de Navigation, XIe Congrès. Saint-Pétersbourg, 1908 (22 brochures in-8°, 240 × 150). Bruxelles, Imprimerie des Travaux Publics, 1908. (Don de l'Association.) 45580 et 45581

Association internationale des Congrès de Navigation. Commission internationale permanente. Séance tenue à Saint-Pétersbourg le 31 mai 1908. Procès-verbal (in-8°, 240 × 150 de 14 p.). Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1908. (Don de l'Association.) 45582

Association internationale permanente des Congrès de Navigation. Rapport du Bureau exécutif sur la Situation générale de l'Association du 1er mai 1907 au 31 mars 1908 (in-8°, 240 × 150 de 30 p.). Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1908. (Don de l'Association.) 45583

COËNE (J. DE.). — *Le Port maritime et fluvial de Rouen. État actuel. Projet de dégagement des voies ferrées. Garage des chalands. Outillage,* par M. J. de Coëne (Société Industrielle de Rouen. 36e année (mai-juin 1908). Extrait du Bulletin n° 3) (in-8°, 265 × 185 de 14 p., avec 2 pl.). Rouen, J. Girieud, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45565

Coëne (J. de). — *Note sur un nouveau Projet des Travaux du Port du Havre et de la Seine maritime. Dire à l'enquête (23 novembre 1907)*, par M. J. de Coëne (Société Industrielle de Rouen. 36e année (mars-avril 1908). Extrait du Bulletin n° 2) (in-8°, 265 × 185 de 14 p., avec 2 pl.). Rouen, J. Girieud, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45564

Commission permanente internationale d'Aéronautique. Procès-verbaux et Comptes rendus des Travaux de la session extraordinaire tenue à Bruxelles du 12 au 15 Septembre 1907 (in-8°, 255 × 165 de 198 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don de M. G. Espitallier, M. de la S.) 45598

Giuseppe Astuni. — *L'Impianto idroelettrico di Capo Volturna e il trasporto della forza motrice a Napoli*, del Ing. Giuseppe Astuni (Associazione elettrotecnica Italiana) (in-8°, 265 × 182 de 68 p.). Milano, Rebeschini di Turati e C., 1908. (Don de l'auteur.) 45555

Institute of Marine Engineers. Nineteenth Volume of Transactions. Session 1907-1908 (in-8°, 215 × 135). 45550

Lennel (F.). — *Calais. Son port. Son industrie.* Conférence par M. F. Lennel (Chambre de commerce de Calais) (in-8°, 285 × 195 de 78 p., avec phot.). Paris, Imprimerie Berthaud frères, 1908. (Don de la Chambre de commerce de Calais.) 45560

Quinette de Rochemont (Bon). — *Des changements survenus dans les conditions d'établissement et d'exploitation des Ports maritimes.* Conférence faite à l'Institut des Ingénieurs des Voies de Communication, par le Baron Quinette de Rochemont (in-8°, 215 × 135 de 30 p.). Saint-Pétersbourg, 6 juin 1908. (Don de l'auteur.) 45603

Supplement to the List and Catalogue of the Publications issued by the U. S. Coast and Geodetic Survey 1816-1902. January 1903 to August 1908, by R.-M. Brown (Department of Commerce and Labor. Coast and Geodetic Survey. O. H. Tittmann, Superintendent) (in-8°, 285 × 185 de 45 p.). Washington, Government Printing Office, 1908. 45593

Transactions of the Institution of Naval Architects, Volume L. 1908 (in-4°, 285 × 215 de XLIX-330 p., avec XXX pl.). London, W. C., 5, Adelphi Terrace. 45590

Vibert (P.-T.). — *Paris port de mer. Quelques chiffres sur le mouvement commercial des Ports du Havre, de Rouen et de Paris*, par Paul-Théodore Vibert (in-8°, 275 × 185 de 12 p.). Tonnerre, Imprimerie Charles Puyfagès, 1908. (Don de l'auteur.) 45524

Physique.

Concours pour la Fabrication rationnelle des Éléments de Conduits de Fumée. Règlement (in-8°, 240 × 155 de 4 p.). Paris, L. Maretheux. (Don de M. G. Courtois, M. de la S.) 45617

Concours pour la Fabrication rationnelle des Éléments de Poteries de Fumée. Rapport de M. A. Vaillant. (Extrait du Journal L'Architecture du 4 avril 1908) (in-8°, 245 × 160 de 12 p.). Paris, Maretheux. (Don de M. G. Courtois, M. de la S.) 45618

Debesson (G.). — *Le Chauffage des Habitations.* Étude théorique et pratique des procédés et appareils employés pour le Chauffage des Édifices, des Maisons, des Appartements, par G. Debesson (in-8°, 255 × 165 de xvi-668 p., avec 711 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45513

Routes.

Vallot (H.). Bernard (C.-J.-M.). — *Les Chemins de montagne. 1re partie.* H. Vallot. *2e partie.* C.-J.-M. Bernard (in-8°, 225 × 155 de 40 p.). (Extrait de « La Montagne », Revue mensuelle du Club Alpin Français, juin-juillet 1908, pages 231 à 290). Paris, Imprimerie Lecoq, Mathorel et Ch. Bernard, 1908. (Don de M. H. Vallot, M. de la S.) 45525

Sciences mathématiques.

Bonneau (L.). — *Étude sur les Voûtes et Viaducs*, par L. Bonneau (in-8°, 255 × 165 de x-192 p., avec 50 fig. et tabl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45514

Bulletin du Laboratoire d'Essais mécaniques, physiques et de Machines du Conservatoire National des Arts et Métiers. Nos 10, 11, 12, 14 (4 brochures in-8°, 255 × 160). Paris, Ch. Béranger, 1907, 1908. (Don de M. le Directeur du Laboratoire d'Essais.) 45576 à 45579

Fabry (E.). Darboux (G.). — *Traité de Mathématiques générales*, par E. Fabry. Préface de G. Darboux (in-8°, 255 × 165 de x-440 p.). Paris, A. Hermann et fils, 1909. (Don des éditeurs.) 45612

Margossian (A.). — *De l'Ordonnance des Nombres dans les carrés magiques impairs* (Procédés généraux pour leur construction immédiate), par A. Margossian (Contribution à l'étude des carrés magiques) (in-16, 190 × 145 de 136 p.). Paris, A. Hermann, 1908. (Don de l'auteur.) 45575

Rouse Ball (W.). Fitz-Patrick (J.). — *Récréations mathématiques et Problèmes des temps anciens et modernes*, par W. Rouse Ball. Deuxième édition française traduite d'après la quatrième édition anglaise et enrichie de nombreuses additions, par J. Fitz-Patrick. Première partie et deuxième partie (2 vol. in-16, 190 × 140 de 356 p., avec 11 fig., et de 364 p., avec 158 fig.). Paris, A. Hermann, 1907, 1908. (Don de l'éditeur.) 45601 et 45602



Sciences morales. — Divers.

SAUVAGE (É.). — *Jules Fleury, Ingénieur et Économiste (1839-1906).* Notice par Édouard Sauvage (in-8°, 225 × 140 de 35 p., avec 1 phot.). Paris, Ch. Béranger, 1908. (De la part des enfants de J. Fleury.) 45614

VIBERT (P.). — *Pour lire en Automobile. Nouvelles fantastiques*, par Paul Vibert (Théodore Vibert fils) (in-18, 195 × 120 de XI-384 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1901. (Don de l'auteur.) 45521

VIBERT (P.-T.). — *Pour lire en Ballon. Nouvelles sentimentales*, par Paul-Théodore Vibert (in-18, 190 × 120 de XIII-630 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1907. (Don de l'auteur.) 45523

VIBERT (P.-T.). — *Pour lire en Bateau-Mouche. Nouvelles surprenantes*, par Paul-Théodore Vibert (in-18, 190 × 120 de x-518 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1905. (Don de l'auteur.) 45522

VIBERT (P.). — *Silhouettes contemporaines. Les Hommes de mon temps*, par Paul Vibert (Théodore Vibert fils) (in-8°, 255 × 165 de 588 p.). Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1900. (Don de l'auteur.) 45520

Technologie générale.

Association Française pour l'avancement des Sciences. Comptes rendus des Travaux présentés au Congrès de Clermont-Ferrand. 1908. I. Rapports (in-8°, 255 × 165 de 134 p.). *II. Résumés* (in-8°, 255 × 165 de 175 p.). Paris, Secretariat de l'Association. 45569 et 45570

BEL (J.-M.). — *Compte rendu du Congrès Colonial Français de 1908. Section de l'Industrie minérale et chimique*, par Jean-Marc Bel (Note manuscrite, 270 × 210 de 8 p.). (Don de l'auteur, M. de la S.) 45516

Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne. Discours prononcés à la séance générale du Congrès le vendredi 24 avril 1908, par M. Henri Cordier et M. Gaston Doumergue (in-8°, 280 × 180 de 43 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1908. (Don du Ministère de l'Instruction Publique et Beaux Arts.) 45549

Congrès du Cinquantenaire de la Société de l'Industrie minérale, 14-18 juin 1908. La Fabrication électrique des Aciers aux Aciéries Jacob Holtzer, à Unieux (Loire) (in-8°, 245 × 160 de 14 p., avec 7 fig.). Paris, Société des Publications scientifiques et industrielles, 1908. (Don de M. P. Duthu, M. de la S.) 45510

1er Congrès international de la Route. Paris 1908. Rapports (102 brochures in-8°, 270 × 180). Paris, Lahure, 1908. (Don de M. le Secrétaire général du Congrès.) 45606

DEINHART (K.) ET SCHLOMANN (A.). WAGNER. (W.). — *Dictionnaires techniques illustrés en six langues : Français, Anglais, Allemand, Russe, Italien, Espagnol.* Rédigé suivant une méthode spéciale. par K. Deinhardt et A. Schlomann. *Tome III. Chaudières, Machines et Turbines à vapeur*, publié sous la direction de Wilhem Wagner (in-16°, 175 × 100 de XII-1 322 p., avec 3 500 fig.). Paris. H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45587

Exposition Franco-Britannique. Mai-Novembre 1908. Section Française. Groupe IV. Mécanique générale (in-8°, 210 × 135 de 165 p.). (Don de M. J. Niclausse. M. de la S.) 45599

FRANKLIN. — *Guide des savants, des littérateurs et des artistes dans les Bibliothèques de Paris*, par Un Vieux Bibliothécaire (in-18°, 190 × 130 de VII-219 p.). Paris, H. Velter, 1908. 45597

International Catalogue of Scientific Literature. G. Mineralogy including Petrology and Crystallography. Sixth Annual Issue. May 1908 (in-8°, 215 × 135 de VIII-251 p. à 2 col.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de l'éditeur.) 45532

15 Juin 1908. Visite des Aciéries d'Unieux, Jacob Holtzer et Cie. Congrès du Cinquantenaire de l'Industrie minérale (un plan autographié plié format 225 × 110). Saint-Étienne et Firminy, Lith. J.-E. Ménard. (Don de M. Duthu, M. de la S.) 45511

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLXXI. 1907-08. Part. I (in-8°, 215 × 135 de VIII-552 p., avec 5 pl.). London, Published by the Institution, 1908. 45533

Société de l'Industrie minérale. Compte rendu du Congrès du Cinquantenaire. Saint-Étienne, 14-20 juin 1908 (Comptes rendus mensuels des réunions de la Société de l'Industrie minérale. Juin, juillet et août 1908, pages 149 à 340) (in-8°, 230 × 145 de 92 p., avec pl.). Saint-Étienne, Au Siège de la Société. (Don de M. L. Tauzin.) 45600

Société industrielle de Mulhouse. Programme des Prix proposés en Assemblée générale le 24 juin 1908, à décerner en 1909 (in-8°, 255 × 165 de 60 p.). Mulhouse, Vve Bader et Cie, 1908, 45595

Society of Engineers. Transactions for 1907 and General Index 1857 to 1907 (in-8°, 225 × 140 de 294 p., avec pl.). London, E. and F.-N. Spon, 1908. 45512

The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LXXVI. N° I. 1908 (in-8°, 220 × 140 de XVI-493 p., avec VIII pl.). London, E. and F.-N. Spon, 1908. 45568

The Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. LXXVII. N° II. 1908 (in-8°, 220 × 140 de VII-287 p., avec XLI pl.). London, E. and F.-N. Spon, 1908. 45547

Transactions of the North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders. Vol. XXIV. Twenty-fourth Session 1907-1908 (in-8°, 240 × 150 de XLIV-376 p., avec L pl.). Newcastle-Upon Tyne and London, Andrew Reid and C°, 1908. 45610

Travaux publics.

RAYMOND (A.-M.). — *Notes pratiques et résumées sur l'Art du Constructeur en Turquie*, par Alexandre M. Raymond (in-8°, 255 × 165 de 263 p., avec 180 croquis et 15 pl.). Alexandrie, J. della Rocca, 1908. (Don de l'auteur.) 45565

Voies et Moyens de communication et de transport.

COLSON (C.). — *Transports et Tarifs. Régime administratif des Voies de communication. Conditions techniques et commerciales des transports. Lois économiques de la détermination des prix. Tarifs de chemins de fer. Statistique du Trafic en France et à l'Étranger.* Troisième édition revue et augmentée, avec 10 diagrammes et cartes en couleurs, par C. Colson (in-8°, 230 × 145 de 863 p.). Paris, Lucien Laveur, 1908. (Don de l'éditeur.) 45545

TARIS (É.). — *L'Automobile et les Armées modernes*, par Étienne Taris (in-8°, 230 × 140 de 351 p., avec 144 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45557

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois d'octobre 1908, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

M. BERNARD DE MARIGNY,	présenté par MM.	Algrin, Casalonga, Guitton.
B.-J.-E. BÉZAULT,	—	Considère, A. Schmid, Talansier.
BRETISLAO MANOEL DE CASTRO junior,	—	Reumaux, Regnard, Geraldo-Rocha.
Ch. BOULANGER,	—	Laggarigue, Longuemare, Lumet.
A. FABIATO,	—	P. Giraud, Ch. Lépine, Navarre.
M. FROIS,	—	Bajac, Clair, Noël.
M. SAUVAGEON,	—	E. Buquet, Fichet, V. Sépulchre.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

L. DE LARRÉ DE LA DORIE,	présenté par MM.	Carrot, Klein, Legat.
S. RENAULT,	—	J. Armengaud, Le Las, Huber.
H.-E. SARRADE,	—	Carrot, Klein, Legat.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1908

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 OCTOBRE 1908.

Présidence de M. Reumaux, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

J.-A. Alberti, membre de la Société depuis 1900, chef de l'exploitation des Chemins de fer du Rio Grande do Sul (Brésil).

G. Balas, ancien élève de l'École Centrale (1870), membre de la Société depuis 1893, Ingénieur-Constructeur (travaux publics, distribution d'eau et de gaz, etc.).

A.-L. Bernaville, membre de la Société depuis 1898. A été Ingénieur-Directeur de la Société nouvelle des lampes à arc.

J.-V. Damoizeau, membre de la Société depuis 1871, ancien élève de l'École d'Arts et Métiers d'Angers. A été attaché à la Société Cail et Cie. Auteur de l'appareil panoramique « Le Cyclographe ».

E. Fournier, membre de la Société depuis 1878. Ancien Inspecteur général de la Société Austro-Hongroise privilégiée des Chemins de fer de l'État.

P.-P. Gaillard, ancien élève de l'École d'Arts et Métiers d'Aix (1888), membre de la Société depuis 1907. Ingénieur à la Société de Montbard-Aulnoye.

A. Kaindler, ancien élève de l'École d'Arts et Métiers d'Aix (1868), membre de la Société depuis 1881. Ingénieur-Conseil en matière de papeterie.

G.-E. Reyjal, ancien élève de l'École Centrale (1861), membre de la

Société depuis 1878. A été chef de bureau de la construction de la ligne d'Angoulême-Limoges et chef de bureau du service du matériel fixe aux Chemins de fer de l'État.

J.-M. de Montgolfier, ancien élève de l'École Centrale Lyonnaise (1879), membre de la Société depuis 1891. Ingénieur fondé de pouvoirs à la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt.

L.-F.-R. Panhard, ancien élève de l'École Centrale (1864), membre de la Société depuis 1880. Officier de la Légion d'honneur. Constructeur de machines-outils et d'automobiles (1).

A. Salanson, ancien élève de l'École Polytechnique (1861), membre de la Société depuis 1907. Président de la Compagnie « L'Union des Gaz ».

Enfin, ceux de MM. :

P. Darblay, ancien élève de l'École Centrale (1847) et l'un des fondateurs de notre Société, auquel la médaille commémorative avait été remise lors du Soixantenaire. M. Darblay, de 1848 à 1881, a dirigé les Moulins de Corbeil, qui furent vendus à cette époque à la Société anonyme qui les exploite à l'heure actuelle. Il dirigea en outre les Usines et Papeteries d'Essonnes. Il fut censeur de la Banque de France, maire de Corbeil, maire de Saint-Germain-les-Corbeil, membre honoraire de la Commission permanente des valeurs en douane. Il était officier de la Légion d'honneur.

J.-E. Gouin, ancien élève de l'École Centrale (1869), membre de la Société depuis 1875. Chevalier de la Légion d'honneur, président du Conseil de la Société de Constructions des Batignolles, vice-président de la Compagnie des Chemins de fer de Bône à Guelma, président de la Société de Construction des Chemins de fer Indo-Chinois, régent de la Banque de France, conseiller du Commerce extérieur de la France. A ses obsèques des discours ont été prononcés par M. Marcel Trélat, président de la Compagnie des Chemins de fer de Bône à Guelma, et par M. P. Bodin, administrateur de la Société de Constructions des Batignolles et ancien président de notre Société. Ce dernier discours sera publié dans un prochain bulletin (2).

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes. Ont été nommés :

Chevalier de la Légion d'honneur : M. D. Wourgaft.

Commandeur du Nicham Iftikar : M. Godard-Desmarest.

Officier du Nicham Iftikar : M. A. Blum.

Officier de l'Ordre de Léopold de Belgique : M. P. Boubée.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 701.
(2) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 705.

M. le Président fait connaitre qu'un pli cacheté a été déposé par notre collègue, M. G. Marié, à la date du 28 septembre, et a été enregistré sous le numéro 53.

Le premier Congrès international de la Route, dont il a déjà été fait mention, doit se tenir à Paris du 12 au 18 octobre. La Société en fait officiellement partie et a désigné comme Délégué notre ancien Président, M. Loreau.

A ce propos, M. le Président dit que le premier Congrès international du Froid doit avoir également lieu, à Paris, du 5 au 12 octobre, et que la Société y sera représentée par MM. Reumaux, Président; Barbet, Vice-Président; Brüll, ancien Président, et G. Claude.

La onzième Exposition internationale de l'Automobile, du Cycle et des Sports aura lieu, pour la première fois cette année, en deux séries : la première, du 28 novembre au 13 décembre, sera consacrée aux automobiles, cycles et sports ; la seconde, du 24 au 30 décembre, aura trait aux véhicules industriels, machines-outils, navigation, aérostation, aviation, etc.

Le quarante-septième Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira à Rennes le 13 avril 1909.

Le huitième Congrès international d'Hydrologie, de Climatologie, de Géologie et de Thérapie par les Agents physiques aura lieu, à Alger, du 4 au 10 avril 1909.

L'Office National du Commerce extérieur fait connaître qu'un concours est ouvert pour l'obtention du poste permanent d'Ingénieur-Assistant en chef pour le service électrique et mécanique de la municipalité d'Alexandrie.

Les demandes doivent être adressées à la municipalité avant le 15 octobre.

Les documents relatifs à ce concours sont déposés à la bibliothèque.

M. A. Maury a la parole pour le *compte rendu du voyage aux Travaux du Tunnel du Loetschberg* (1).

M. Maury présente le compte rendu de la *Visite aux travaux du chemin de fer des Alpes Bernoises*, faite par une soixantaine de membres de la Société à la suite de l'invitation des entrepreneurs généraux de ces travaux : MM. Allard, Chagnaud, Coiseau, Couvreux, Dollfus et Wiriot, nos Collègues.

Il indique d'abord le but de ce chemin de fer, qui est de mettre la ville de Berne en communication directe avec le tunnel du Simplon et d'éviter ainsi le long détour que le massif de l'Oberland bernois oblige à faire actuellement. Il décrit ensuite sommairement le tracé de la ligne. Elle part de Frütigen, où elle se raccorde avec une ligne déjà existante, qui la relie avec le chemin de fer de Berne à Interlaken ; elle remonte la vallée de la Kander avec une rampe de 27 0/00 et arrive, après avoir franchi un ressaut de la vallée au moyen d'une double boucle, à l'embouchure du grand tunnel du Loetsbcherg à la cote 1 200. Le tunnel a 13 735 m de longueur et débouche à Goppenstein, dans la

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 662.

vallée de la Lonza, que le tracé suit, à une grande hauteur, jusqu'au point où elle remonte la vallée du Rhône. La ligne s'infléchit alors à angle droit pour descendre à flanc de montagne jusqu'à Brigue, ou elle se raccorde à la ligne allant en Italie, à la cote 681. La longueur totale du chemin de fer est de 58 475 m dont environ 20 km pour la rampe nord et 25 km pour la rampe sud.

M. Maury fait ensuite le récit de l'excursion qui a commencé, le lundi 20 juillet, à 9 heures du matin, par la visite du chantier de Brigue et le parcours de la voie provisoire établie par l'Entreprise pour accéder au grand tunnel et aux travaux de la rampe d'accès définitive. Il indique que la construction de cette voie de service a nécessité de nombreux et importants travaux à cause de la déclivité extrêmement raide du terrain et de la nature ébouleuse du sol; il expose que, outre de grands murs de soutènement et des ponts en charpente très hardis, de nombreux tunnels ont été nécessaires dont la longueur totale est d'environ 7 000 m. Il fait enfin ressortir les difficultés bien plus sérieuses qu'entraînera la construction de la voie définitive, dont les rayons, plus grands que ceux de la voie provisoire, ne permettront pas une adaptation aussi complète du tracé aux sinuosités de la montagne.

Il dit que le déjeuner offert par l'Entreprise à la Société avait été préparé au point où la ligne quitte la vallée du Rhône pour entrer dans celle de la Lonza et que ce point avait été choisi parce que l'on y domine la vallée de 400 m et que l'on y jouit d'une vue superbe, mais que, malheureusement, le temps, qui a été mauvais toute la journée, n'a pas permis aux visiteurs d'admirer le panorama. Il ajoute que ce contre-temps n'a rien enlevé à la cordialité et à l'entrain du déjeuner, et il résume les paroles prononcées au dessert par MM. Coiseau et Reumaux, au nom de l'Entreprise et de la Société des Ingénieurs Civils de France (1).

Après le déjeuner, la plupart des excursionnistes se sont rendus à pied à Goppenstein en traversant une série de tunnels non encore terminés et dont l'un a 1 370 m de longueur; ils ont ensuite visité les travaux du grand tunnel. M. Maury rend compte du mode d'exécution de ces travaux qui sont attaqués par une galerie de base. Il expose les raisons pour lesquelles cette méthode de travail est imposée pour un long tunnel : nécessité de se débarrasser rapidement des eaux rencontrées, obligation de multiplier les attaques d'arrière pour suivre la marche de la galerie d'avancement et difficulté de les multiplier avec une galerie de faîte et, enfin, possibilité d'établir, dès le début, la voie de transport à sa place définitive et d'avoir une excellente voie, ce qui est indispensable au mouvement rapide des déblais et des matériaux. Il expose ensuite le mode d'exécution des travaux; ceux d'élargissement, les premiers rencontrés, sont exécutés au moyen de cheminées verticales ouvertes dans la galerie d'avancement et desquelles partent des galeries longitudinales où s'effectuent les excavations d'abatage; la galerie d'avancement qui a 3 m de hauteur sur 2,20 m de largeur est percée par quatre perforatrices à air comprimé montées sur un affût horizontal avec lesquelles on a

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, pages 675 et 677.

obtenu un avancement moyen de 6 m par jour avec des maxima de plus de 9 m.

Parlant de la préférence donnée par l'Entreprise à l'air comprimé sur l'eau comprimée pour la mise en mouvement des perforatrices, M. Maury explique que la justification de cette préférence est dans la facilité avec laquelle l'air comprimé se transporte partout, ce qui permet d'appliquer la perforation mécanique à toutes les attaques avec une économie importante de temps et de main-d'œuvre. Il montre que l'emploi de l'air comprimé a permis et permettra davantage encore à l'avenir l'application de la perforation mécanique aux tunnels des lignes d'accès au moyen de compresseurs portatifs faciles à installer partout et que cette extension des moyens mécaniques serait impossible avec l'eau comprimée.

M. Maury parle ensuite du retour à Brigue et du dîner offert par la Société des Ingénieurs Civils de France à l'Entreprise; il donne un résumé des discours prononcés par M. le Président Reumaux, par lui-même et par M. Chagnaud (1).

Il décrit sommairement le voyage de la tête sud à la tête nord de la ligne des Alpes Bernoises, voyage qui a pris toute la journée du lendemain et dont la partie la plus intéressante a été le trajet effectué sur la ligne électrique de Montreux à Zweisimmen, où les membres de la Société n'ont cessé d'admirer les plus beaux panoramas.

Il aborde enfin le récit de la dernière journée de l'excursion, dont la première partie a été consacrée au parcours de la voie provisoire de la rampe nord; le principal intérêt de ce parcours réside dans le tracé étudié pour franchir le ressaut de la vallée qui comporte une série de grands ponts de charpente d'une hardiesse pittoresque.

Arrivés à Kandersteg, les membres de la Société visitent les installations de la tête nord du tunnel de Loetschberg qui se composent, au point de vue de la production de la force motrice, de deux groupes de compresseurs, les uns comprimant l'air à 10 kg pour la perforation mécanique et les autres le comprimant à 120 kg pour la traction des matériaux et des déblais. Tous ces appareils sont commandés par l'électricité, la Compagnie s'étant engagée à fournir à l'Entreprise une puissance constante de 2 500 ch à chaque tête. Des ateliers de réparations, des forges, des scieries, ainsi que des hôpitaux et des maisons ouvrières, complètent ces installations.

Le déjeuner réunit tout le monde une dernière fois et après des discours de M. Couvreux et de M. le professeur Golliez administrateur de la Compagnie, M. le Président Reumaux, qui s'est prodigué pendant ces trois jours, adresse à nos Collègues les entrepreneurs les félicitations et les remerciements de tous (2).

Après la présentation d'une série de projections de photographies prises au cours de cette visite, M. Maury adresse, au nom de tous ceux qui ont pris part à la tournée, les félicitations les plus vives à l'Entreprise et à ses Collaborateurs.

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, pages 677, 680 et 682.

(2) Voir Bulletin d'octobre 1908, pages 684, 687 et 689.

Il rappelle le grave événement qui a interrompu le travail du côté nord du tunnel et il exprime l'espoir que ce regrettable incident n'aura pas de conséquences fâcheuses pour la réussite de la belle entreprise du chemin de fer des Alpes Bernoises.

M. le Président demande à ajouter quelques mots à l'exposé de M. Maury, non pas pour le compléter, car le compte rendu qui vient d'être fait est parfait en tous points et M. le Président l'en remercie au nom des excursionnistes, mais il tient à associer la Société aux remerciements qui ont été adressés aux chefs de l'entreprise, à M. Coiseau, notre ancien Président, et à MM. Allard, Chagnaud, Couvreux, Dollfus et Wiriot.

L'accueil qu'ils ont fait aux membres de la Société a été véritablement exceptionnel. Les excursionnistes ont pu voir en détail l'organisation si complète et si admirablement conçue de cette vaste entreprise, dont les procédés et le matériel sont des plus nouveaux sur un très grand nombre de points.

Ce qui est surtout remarquable, c'est l'avancement exceptionnellement rapide des travaux. Nulle part, jusqu'à présent, on n'est arrivé à cette vitesse ; mais ces ingénieurs appartiennent à la grande école des Hersent et des entrepreneurs qui ont fait à l'étranger des travaux de premier ordre.

M. le Président les remercie donc à nouveau, ainsi que les Directeurs de la Compagnie, et s'associe aux condoléances que M. Maury leur a adressées pour l'accident terrible qui a fait récemment tant de victimes.

M. Chardon demande à poser une question à M. Maury et expose qu'il a eu l'occasion de visiter l'endroit où s'est produit le grave accident dont il vient d'être parlé. Il fournit des explications, appuyées d'un croquis au tableau, sur les causes possibles de l'accident et demande à M. Maury s'il peut donner à la Société des indications sur les projets des entrepreneurs en ce qui concerne la continuation des travaux.

M. Maury répond qu'il n'a pas qualité pour répondre.

Personne ne demandant la parole, la discussion est close.

M. G. Espitallier a la parole pour sa communication sur l'*Emploi du béton armé dans les constructions* (1).

M. G. Espitallier, après avoir rappelé les hésitations qui se sont manifestées au début, lorsqu'il s'est agi d'introduire le béton armé dans la pratique des grands travaux publics, constate que, si la période d'empirisme n'est pas complètement close, les applications sont aujourd'hui assez nombreuses et les faits d'expériences assez concluants pour donner toute confiance dans les méthodes actuelles de calcul.

Le caractère essentiel du béton armé — ou plus généralement de la maçonnerie armée — c'est l'exact rangement des deux éléments, fer et maçonnerie, à la place que leur assignent leurs propriétés particulières, pour qu'ils exercent, chacun, précisément, le mode d'action auquel il est le mieux adapté. A proprement parler, on n'a pas de maçonnerie armée si l'un des deux éléments ne concourt pas à la résistance. Dans

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 613.

certaines constructions américaines, après avoir construit une carcasse métallique qui suffit à elle seule à tout porter, on enrobe cette carcasse dans une enveloppe de béton qui n'est ainsi qu'une superfétation et n'a d'autre rôle que de soustraire le métal à l'action du feu : ce n'est pas du béton armé. De même certains caissons en tôle sont uniquement destinés à servir de moule étanche à des massifs maçonnés : ces massifs ne sont point de la maçonnerie armée.

Au contraire, on peut donner cette appellation à un ouvrage comme les bassins de radoub de Missiessy, parce qu'on ne pourrait pas supprimer la charpente métallique qui lui sert d'ossature, sans provoquer des ruptures.

Après avoir examiné les conditions qui dominent la construction en ciment armé, M. Espitallier passe en revue les différents genres de travaux auxquels elle s'applique.

Ce sont tout d'abord les *ponts* auxquels l'emploi du béton armé permet de donner à la fois une grande portée et un fort surbaissement, avec une légèreté favorable à l'établissement d'une bonne fondation. Le béton armé se prête d'ailleurs à l'établissement facile et direct de cette fondation, en supprimant les enceintes et batardeaux provisoires, si l'on fait usage, soit de pieux et palplanches, soit de caissons également en béton armé.

Dans les *barrages* et *murs de soutènement*, le béton armé intervient également par son élasticité qui lui permet de résister aux efforts de flexion dus à la poussée.

Les mêmes qualités se manifestent dans certains *encorbellements* de grande portée, comme ceux qui sont en exécution pour l'élargissement de la tranchée des Batignolles, sur le chemin de fer de l'Ouest, et dans la construction des *hautes cheminées* d'usines et des *phares*, soumis à l'action du vent. On peut s'étonner que les premiers projets de phares en béton armé aient été précisément écartés, sous prétexte que, par suite même de l'élasticité, l'on pourrait craindre des vibrations et des oscillations incompatibles avec le bon fonctionnement des appareils optiques. C'est un reproche qu'il faudrait adresser alors aux phares entièrement métalliques. Le mode de construction en béton armé atténue d'ailleurs ces effets, la lanterne étant portée par un cylindre intérieur qui n'est soumis directement ni à l'action du vent, ni au choc des vagues.

Il convient de faire une place à part, dans les travaux maritimes, aux *pieux* et *palplanches* en béton armé, dont la durée semble devoir être indéfinie, moyennant quelques précautions dans la confection et le battage.

Les *murs de quai*, à leur tour, offrent des applications avantageuses du nouveau mode de construction. Deux méthodes y sont employées. Dans la première, le soutènement est constitué par un rideau, une semelle horizontale et des contreforts réunissant ces deux premiers éléments ; la semelle étant chargée en arrière de tout le poids de la terre superposée, c'est cette charge qui fait équilibre à la poussée.

La seconde méthode est basée sur l'emploi de caissons amenés par flottage et dans les compartiments desquels on introduit, pour les lester

soit du béton ordinaire, soit même des pierrailles, du sable ou de la terre.

Le même procédé s'applique à la construction des *jetées* et des *digues*, dont on a dès aujourd'hui des exemples nombreux.

Enfin, on a pu dire que les revêtements en béton armé constituent la solution la plus économique et la plus sûre de la *protection des dunes et des berges.* Il ne s'agit pas alors d'étendre sur le talus une dalle d'épaisseur uniforme qui, sur d'aussi vastes surfaces, aurait les plus grandes chances de se fissurer, par suite des affaissements partiels du sol. On établit, au contraire, un réseau résistant de poutres, dont les mailles sont simplement operculées par des dalles de petites dimensions et de faible épaisseur, en ménageant, dans le réseau lui-même, des joints de dilatation. C'est ainsi qu'on a opéré avec succès pour la protection des dunes de la Belle-Henriette, en Vendée.

Comme on le voit, le béton armé intervient utilement dans presque toutes les branches des travaux publics, et donne partout des solutions originales.

Les projections de photographies d'ouvrages qui ont été faites en séance en fournissent de nombreux exemples.

M. le Président demande si quelqu'un désire présenter des observations au sujet de la communication de M. Espitallier.

Personne ne demandant la parole, il le remercie de l'exposé si complet qu'il vient de faire et qui met en évidence l'importance et l'originalité des travaux qui ont été décrits.

Le béton armé est susceptible de grandes applications, parmi lesquelles l'une des plus importantes sera certainement celle qui pourra en être faite aux grands ports français le jour où ils seront confiés à l'industrie privée.

M. Schlüssel a la parole pour sa communication sur la *Théorie et la Pratique des voies ferrées futures* (1).

M. Schlüssel dit que l'heure avancée ne lui permet pas de faire cette communication. Il s'excuse près de ses collègues du retard imposé par les circonstances et croit, sur les indications de M. le Président, pouvoir prendre la parole dans une séance prochaine.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. B.-M. de Castro, comme Membre Sociétaire Titulaire, L.-M.-E. de Larré de la Dorie, S. Renault, H.-E. Sarrade, comme Membres Sociétaires Assistants.

MM. M.-V.-N. Bernard de Marigny, B.-J.-E. Bezault, A. Fabiato, M.-L. Frois, V.-M. Sauvageon, Ch. Boulanger, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires.

La séance est levée à onze heures cinq.

L'un des Secrétaires techniques,
G. Lumet.

(1) Voir Bulletin de mars 1908, page 333

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 16 OCTOBRE 1908

Présidence de M. E. Reumaux, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de notre ancien Président, M. G. Canet. Conformément aux traditions en pareilles circonstances, des lettres de faire part, émanant de la Société, ont été adressées à tous les Membres du Comité actuel, ainsi qu'à tous ceux qui avaient fait partie du Comité en même temps que M. Canet, c'est-à-dire depuis 1888. La plupart d'entre eux assistaient aux obsèques de notre regretté Président. Quelques-uns, dans l'impossibilité de s'y trouver, ont adressé des lettres de regrets et de condoléances; ce sont MM. Ch. Baudry, Bel, P. Besson, Coignet, Mercier, Lumet, Lavezzari. La Société a reçu en outre des lettres de condoléances du Secrétaire de la Junior Institution of Engineers, dont M. Canet était Président, et de M. Nillus.

M. le Président prononce ensuite les paroles suivantes :

« Messieurs,

» La Société des Ingénieurs Civils de France est cruellement éprouvée » depuis quelques mois par des deuils successifs, qui frappent les fa- » milles de ses Membres les plus anciens et les plus éminents.

» Un deuil nouveau est venu nous attrister il y a peu de jours : notre » ancien Président de 1900, Gustave Canet, dont le nom est universel- » lement connu parmi ceux qui s'occupent de la Défense Nationale et » des questions d'artillerie, est mort la semaine dernière, après une » douloureuse maladie.

» Sorti en 1869 de l'École Centrale, G. Canet était lieutenant d'artil- » lerie de la garde mobile du Haut-Rhin pendant la Guerre de 1870. Il » participa à la mise en état de défense de Neuf-Brisach, fut fait prison- » nier de guerre et envoyé à Leipzig.

» Les désastres de la patrie, dont il fut le témoin attristé, laissèrent

» dans son cœur de soldat et de patriote une profonde impression : cette
» période de rudes épreuves fut pour lui une première initiation aux
» besoins de notre matériel de guerre et, dès lors, Canet pouvait entre-
» voir le programme des travaux à accomplir et qu'il exécuta si bril-
» lamment.

» Après sa libération, il fut attaché, en Suisse, comme ingénieur à la
» construction du Chemin de fer de Porrentruy-Delle.

» Il entra ensuite, en 1872, aux ateliers de construction de MM. Va-
» vasseur et Cie, de Londres, où il se spécialisa dans l'étude du maté-
» riel d'artillerie. C'est là, que Canet trouva sa véritable voie ; après
» avoir passé plusieurs années dans cette importante maison, il revient
» en France, en 1881, pour créer, aux Forges et Chantiers de la Médi-
» terranée, au Havre, le premier atelier d'artillerie de l'industrie privée
» française. La loi réservait alors aux seuls ateliers de l'État, le mono-
» pole de la construction du matériel de guerre. Ce ne fut qu'après de
» longs et persévérants efforts que ces dispositions furent abrogées par
» la loi de 1885, qui rendit à l'industrie privée toute sa liberté. On venait
» à cette époque d'adopter pour l'artillerie de campagne le canon de
» Bange (1877), mais il restait un vaste champ d'activité dans la réfec-
» tion du matériel de côtes et de places, et de la marine.

» Canet s'attacha à coopérer à cette œuvre avec toute l'ardeur et
» l'énergie qu'il apportait à toutes ses entreprises.

» Dès le début, une importante commande, de l'État, de canons pour
» la défense des côtes vient assurer l'activité des nouveaux ateliers, en
» montrant en même temps la valeur et le mérite reconnus des inno-
» vations de G. Canet. Ces innovations sont caractérisées d'une façon
» générale par l'application aux divers organes de la bouche à feu de
» mécanismes nouveaux, simples et perfectionnés, permettant d'accélé-
» rer sensiblement les manœuvres du service des pièces, de simplifier
» les opérations du tir et d'assurer dans le fonctionnement général du
» matériel, le maximum de sécurité pour le personnel.

» Les nouvelles poudres sans fumée françaises permettent à Canet
» d'établir un nouveau matériel, dont la supériorité, bientôt reconnue,
» lui assure de nombreuses commandes pour divers pays étrangers,
» comme la Russie, le Japon, le Brésil, la Turquie, la Serbie, la Bul-
» garie, l'Espagne, le Portugal, la Grèce, la Chine, la Perse et bien
» d'autres encore, enlevant ainsi aux constructeurs allemands et an-
» glais le monopole de fait, dont ils jouissaient jusqu'alors.

» Le rôle ainsi joué par Canet dans le progrès de l'artillerie en général
» a donc été de tout premier ordre. Son importance grandit encore en
» 1897, époque où MM. Schneider et Cie firent l'acquisition des ateliers
» du Havre et confièrent à notre ancien Président la lourde tâche de
» diriger à la fois les ateliers d'artillerie du Havre et ceux du Creusot.
» Je n'étonnerai personne de ceux qui l'ont connu en disant que mal-
» gré cette nouvelle augmentation de ses responsabilités, Canet sût
» élargir encore le domaine de ses recherches fécondes.

» Il serait impossible de rappeler ici les innombrables types créés ou
» modifiés par ses soins. Il convient cependant de rappeler qu'il est
» l'auteur de la théorie mathématique des freins hydrauliques pour affût,

» dont l'application a permis la création des divers canons à tir rapide,
» et que c'est dans les expériences dirigées par lui au Havre qu'a été
» atteinte pour la première fois en service courant la vitesse initiale de
» 1 000 m (1890). Rappelons également ses affûts pour tourelle de na-
» vire à chargement central dans toutes les positions, ses modèles de
» tubes lance-torpilles, ses divers types de fermeture de culasse à ma-
» nœuvre rapide, ses affûts de bord et de côte, etc.

» Soucieux d'améliorer tout ce qui touchait au matériel d'artillerie,
» Canet ne bornait pas ses études aux pièces elles-mêmes et à leurs
» affûts ; il s'occupait également des poudres et des explosifs, et c'est
» ainsi qu'il était devenu Président de la Société Française des Poudres
» de Sûreté, Président de la Société des Munitions d'Artillerie, Prési-
» dent honoraire de la Chambre Syndicale des Fabricants et Construc-
» teurs de Matériel de Guerre, Membre de la Commission Ministérielle
» d'Étude des Poudres de Guerre. Il venait récemment d'être nommé
» Administrateur du Crédit Foncier de France. Dans tous ces Conseils,
» sa parole était des plus écoutées.

» La notoriété qu'il s'était ainsi acquise, lui avait valu, de la part des
» Gouvernements, des distinctions honorifiques nombreuses et élevées,
» qu'il serait trop long de rappeler ici, et parmi lesquelles il était fier de
» porter la croix de Commandeur de la Légion d'honneur.

» Beaucoup de Sociétés scientifiques étrangères avaient tenu à hon-
» neur de le compter parmi leurs membres, et c'est ainsi que Canet était
» Membre honoraire de l'Iron and Steel Institute, de l'American Society
» of Mechanical Engineers, de la Société Technique Impériale Russe,
» et que, tout récemment, l'Institution of Juniors Engineers l'avait
» nommé son Président pour 1908, donnant ainsi, pour la première fois,
» à un ingénieur français la présidence d'une Société technique an-
» glaise.

» Reçu membre de la Société des Ingénieurs Civils de France en 1888,
» Canet prenait bientôt parmi nous une place importante. En 1889, il
» devenait membre du Comité, situation qu'il occupait jusqu'en 1897.
» Elu Vice-Président en 1899, il était choisi par ses collègues pour oc-
» cuper la Présidence en 1900, année de l'Exposition internationale
» universelle.

» Chacun se rappelle avec quelle autorité il présidait à nos séances
» et avec quelle affabilité il recevait tous les membres de la Société des
» Ingénieurs Civils de France et les membres des Sociétés étrangères
» qui avaient été invités à l'occasion de cette grande manifestation.

» Dans la coupole immense érigée par MM. Schneider, au Champ de
» Mars, chacun pouvait admirer les créations dues aux recherches et
» aux travaux de notre éminent Président.

» Dans toutes nos réunions importantes, lorsqu'il s'agissait de prendre
» une décision, Canet ne manquait jamais de nous apporter le concours
» de ses lumières et de son expérience. Sa parole autorisée était écoutée
» de tous et il savait toujours trouver la solution la plus équitable et la
» plus délicate aux difficultés, souvent considérables, qui pouvaient se
» présenter.

» Non content de témoigner ainsi à la Société qu'il a présidée son vif

» intérêt et son attachement, Canet lui faisait don, en 1904, d'une » somme de 36 000 f destinée à la distribution d'un prix de 6 000 f à » décerner tous les six ans, et à la distribution d'un autre prix, alternant » avec le premier tous les trois ans, et consistant en une médaille d'or » d'une valeur de 400 f.

» Il n'oubliait pas non plus, dans sa fondation, que la Société doit » souvent venir en aide, conformément à ses statuts, à quelques-uns de » ses membres qui, moins fortunés, peuvent avoir besoin, momentané- » ment, de son appui, et c'est ainsi qu'il a laissé au jury, dans le cas » où le prix ne serait pas décerné, la possibilité d'affecter tout ou partie » de la somme disposible, soit au fonds de secours, soit à toute autre » destination qui aura semblé plus utile encore.

» Tous ceux d'entre nous, et ils sont nombreux, qui ont eu l'occasion » d'approcher M. Canet, et d'être en relations avec lui d'une façon plus » particulière, n'oublieront jamais avec quelle bonne grâce, quelle » affabilité il accueillait tous ceux qui pouvaient lui demander son aide » et son concours. Son personnel l'adorait, ses amis lui sont restés tous » fidèles.

» Son souvenir restera parmi nous comme celui d'un ingénieur émi- » nent, d'un travailleur infatigable et énergique, d'un homme bon et » généreux au grand cœur duquel on ne faisait jamais appel en vain.

» Puisse ce dernier témoignage d'estime et de sympathie apporter un » léger adoucissement à la douleur cruelle qui frappe cette famille si » unie, au moment même où Canet allait pouvoir jouir en paix du » résultat de ses efforts, entouré de l'affection de tous ses proches. » *(Approbation unanime.)*

M. le Président a le regret de faire connaître également le décès de MM. R. Vernier, membre de la Société depuis 1878, ingénieur civil à Paris ;

R. Polonceau, ancien élève de l'École Centrale (1883), membre de la Société depuis 1887, sous-ingénieur à la Compagnie d'Orléans, sous-chef des ateliers de Paris et de Vitry ;

Ch.-A. Vigreux, ancien élève de l'École des Arts et Métiers de Chalons (1876) et de l'École Centrale (1883), membre de la Société depuis 1898. Ingénieur-constructeur d'appareils mécaniques et électriques. Membre du Comité en 1902 et en 1903.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains bulletins.

Il signale plus particulièrement parmi ces ouvrages :

1° Le compte rendu du Congrès Colonial Français (Section de l'Industrie minérale et chimique), par notre collègue J.-M, Bel ;

2° Le Concours pour la fabrication rationnelle des éléments de conduits de fumée, adressé à la Société par notre collègue G. Courtois.

Ces documents sont déposés à la bibliothèque.

M. le Président fait connaître qu'un pli cacheté a été déposé par M. B. Francfort, à la date du 13 octobre 1908, et enregistré sous le n° 54.

(M. le Président Reumaux étant obligé de se retirer, M. le Vice-Président E. Barbet le remplace au fauteuil.)

PRÉSIDENCE DE M. E. BARBET, VICE-PRÉSIDENT.

M. Alby a la parole pour sa communication sur *le Port d'Anvers* (1).

M. Alby rappelle que, depuis l'époque où l'achèvement des grands murs de quai de l'Escaut (1884) et des bassins Lefèvre et America (1883-1886) a donné à ce port un développement de trafic tout à fait remarquable, les ingénieurs belges n'ont cessé d'être préoccupés de tenir les installations maritimes au niveau des exigences croissantes de l'exploitation.

Dès cette époque, ils ont prévu le développement des bassins sur une échelle considérable et pour un avenir de nombreuses dizaines d'années : ils poursuivent méthodiquement la réalisation de leurs plans. Dans ces dernières années, ils ont franchi une nouvelle étape par la création de nouveaux murs de quai sur l'Escaut, 2000 m de longueur, avec aménagement de hangars; par celle de deux bassins, dits bassins intercalaires, de 28 ha d'eau. 3000 m de quai, 70 ha de terre-pleins; par celle d'une grande écluse donnant accès directement dans les bassins nouveaux.

A l'heure actuelle, ils complètent ces aménagements en construisant des hangars et une nouvelle forme de radoub de 220 m de longueur.

Mais sans attendre l'achèvement de ces installations complémentaires, ils abordent de nouveaux agrandissements et ils ont déjà mis en adjudication la construction de deux nouvelles darses à la suite des bassins intercalaires. Ces darses auront 66 ha d'eau, 5 km de quai; leur achèvement est prévu pour 1914.

Les travaux d'Anvers ont été faits avec la collaboration de plusieurs grandes maisons de construction française : ils constituent une des plus considérables applications du procédé de fondation à l'air comprimé.

Aux murs de quai de l'Escaut sont attachés les noms de MM. Couvreux et Hersent. MM. Coiseau et Cousin ont attaché le leur à celui de la grande écluse Royers.

Les travaux d'Anvers n'ont pas été réalisés sans quelques difficultés. Les murs de quai sud, fondés sur une couche d'argile, ont subi à deux reprises des glissements à certaines grandes marées. Ces glissements tendent à démontrer la nécessité d'enraciner les ouvrages profondément dans les terrains argileux et de ne pas compter sur le frottement des maçonneries : le coefficient de frottement semble devenir pratiquement nul dans des ouvrages soumis à des poussées changeant de sens, selon le jeu des marées. Des murs fondés sur massifs discontinus laissant entre eux de larges intervalles paraissent donner une solution plus

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 645.

avantageuse et plus rationnelle que les murs pleins dans le problème des murs de quais sur terrains argileux.

Les traverses de l'écluse Royers, qui avaient été entrepris dès 1893, pour être exécutés à l'air libre, ont dû être abandonnés en 1894, une communication s'étant établie entre les bassins et la fouille de l'écluse et les eaux ayant envahi le chantier.

Pour éviter le retour de ce genre d'accident, les murs de quais des bassins intercalaires ont été fondés en partie à l'air libre dans des fouilles en tranchée avant le creusement des bassins, en partie dans des caissons métalliques immergés au moyen de béton coulé sous l'eau. Enfin, les travaux de l'écluse Royers ont été fondés à l'air comprimé, chaque tête étant assise sur un grand caisson, les bajoyers et le radier étant faits au moyen d'une cloche à plongeur.

L'emploi de l'air comprimé et les précautions prises pour les fondations des murs de quais ont pleinement réussi.

Les ingénieurs belges prévoient l'emploi de l'air comprimé pour la fondation de la grande forme de radoub nouvelle.

M. le Président demande si quelqu'un désire poser une question à M. Alby.

Personne ne demandant la parole, M. le Président remercie M. Alby au nom de la Société de son intéressante communication. Il a été frappé d'entendre M. Alby parler toujours de la ville d'Anvers et il désirerait savoir si les travaux décrits sont dus à son initiative exclusive et si elle en supporte seule la charge.

M. Alby répond qu'en réalité la ville d'Anvers et l'État se sont partagé les travaux : les travaux des bassins ont été exécutés par les ingénieurs de la ville, ceux de l'Escaut par les ingénieurs de l'État. Au point de vue des dépenses, l'État a largement contribué à la construction des murs de quai de l'Escaut : la ville qui, d'ailleurs, encaisse les recettes du port, a pris l'équipement à sa charge.

M. le Président dit qu'il faut féliciter la ville d'Anvers, qui comprend si bien ses intérêts et aussi ceux de toute la Belgique.

M. le Président, en donnant la parole à M. Schlüssel pour présenter sa *Théorie et pratique des voies ferrées futures*, signale que cette communication a déjà paru dans le bulletin de mars, où l'on a pu en prendre connaissance. Il espère que M. Schlüssel voudra bien, par suite, synthétiser son travail, de manière à en permettre la discussion, s'il y a lieu.

M. L. Schlussel reprend l'exposé de la « *Théorie et pratique des voies ferrées futures* déjà parue dans la communication insérée au Bulletin de mars 1908 » (1), et fait ensuite projeter les clichés représentant les déformations permanentes qu'il avait été matériellement impossible de faire figurer au Bulletin.

La constatation des déformations permanentes des Voies ayant pour conséquence une augmentation importante du travail de traction et un entretien coûteux des voies et du matériel roulant, M. Schlüssel dit qu'il serait pour le moins avantageux d'empêcher ces déformations en augmentant la rigidité de ces voies.

(1) Voir Bulletin de mars 1908, page 333.

Il donne comme définition de la rigidité, le rapport des charges statiques aux efforts dynamiques que les vitesses déterminent.

La rigidité des voies ordinaires étant par définition $\frac{P}{2.4P} = 0.41.$

Celle des voies les plus fortes serait donc représentée par $\frac{P}{1.2P} = 0.83$

et une rigidité complète serait égale à $\frac{P}{P} = 1.$

C'est vers cette rigidité égale à l'unité que doivent tendre tous les efforts, car dans ce cas, les efforts dynamiques qui sont la cause des déformations permanentes produiraient dans les voies les mêmes effets que les charges statiques pour lesquelles il est aisé de les calculer pour rester indéformables.

Or la rigidité d'une voie est la conséquence de sa résistance, cette résistance est elle-même fonction de la masse que présente l'ensemble de ses parties constitutives, laquelle n'atteint son maximum que lorsque ces parties constitutives sont intimement liées par de bons assemblages ; M. Schlüssel en conclut donc que c'est par l'amélioration des assemblages que nous arriverons à la rigidité complète des voies c'est-à-dire à $R = 1$.

Il passe en revue les déformations permanentes des traverses démontre qu'on ne peut prétendre limiter leurs enfoncements par leur seule rigidité, mais de même qu'un rail plus rigide repartit mieux les charges de roue, de même une traverse plus rigide repartit mieux les charges de rail, c'est-à-dire les répartit plus régulièrement, mais sans les diminuer.

Passant à la déformation des attaches, M. Schlüssel établit un parallèle entre les voies chargées verticalement et les voies libres.

Les premières dans lesquelles les rails ne sont liés aux traverses que par l'adhérence naturelle due à la compression des charges, laquelle produit une véritable soudure du rail et de la traverse, mais une soudure éphémère puisqu'elle est la conséquence d'une charge qui passe, ces voies sont capables de résister aux actions horizontales par la seule déformation élastique de la traverse.

Dans les voies libres et insuffisamment chargées, ou rails et traverses sont soulevés et déracinés à l'approche des charges roulantes les actions horizontales ont beaucoup plus de prise que sur les voies directement chargées, et dans ces cas l'adhérence naturelle n'existant pas, c'est l'adhérence préalable obtenue par la tête des tirefonds qui empêche les déversements il est donc nécessaire que cette adhérence donnee préalablement soit efficace si l'on veut limiter élastiquement les déformations.

Cette adhérence préalable, M. Schlüssel la définit de la façon suivante : c'est une compression réelle et continue substituée, sur toutes les traverses, à la pression éphémère et variable due aux charges roulantes, le tirefond étant incapable do maintenir une pression continue.

Il en donne comme preuve l'application, pendant quinze heures seulement, d'une charge horizontale de 750 kg sur chacun des rails d'une traverse en chêne tirefonnée, cette application déterminant par l'écar-

tement des rails des efforts de traction sur les tirefonds qui font pénétrer ceux-ci de 46 centièmes de millimètre dans le bois.

Par contre, l'application de 1 250 kg sur chacun de ces mêmes rails dont les attaches prennent leur point d'appui sur une matière suffisamment résistante, ne donne aucune déformation permanente, cette déformation étant limitée élastiquement.

L'adhérence préalable, dit-il, c'est un effort initial que les actions vives doivent neutraliser au moment de leur engendrement, c'est-à-dire avant de pouvoir se développer ; elle supprime donc les trépidations puisque ces dernières ne sont qu'une succession rapide de compressions et de décompressions pendant lesquelles le contact des pièces constitutives se perd, faute de serrage.

C'est encore, dit-il, la bande donnée à un ressort pour que son effet reste toujours positif, c'est donc le moyen de faire avorter les actions vives par l'absorption élastique des efforts dynamiques.

L'adhérence préalable c'est enfin la colle qui empêche les pièces constitutives d'un assemblage de se séparer pendant le plus petit instant.

Or cette adhérence préalable, M. Schlüssel démontre que le tirefond employé actuellement est absolument incapable de la donner.

Dans ce but, M. Schlüssel a soumis un grand nombre de traverses isolées ou jumelées à l'épreuve suivante.

A l'aide d'une balance très sensible et de poids tarés il reproduit sur les champignons de rails tirefonnés les effets, soit d'une charge morte horizontale, soit d'une succession rapide de compressions et de décompressions horizontales comme aux passages successifs de toutes les roues d'un train animé de mouvements transversaux.

Les écartements des rails font alors travailler les tirefonds intérieurs dans le bois comme cela se passe dans la réalité lorsque les rails se déversent.

L'effort horizontal de 1 000 kg qu'il applique sur chacun des rails les écarte tant que la flexion de la traverse ne s'y oppose pas.

En notant simultanément les écartements et les flexions qui se produisent, il peut ainsi déterminer le travail des assemblages, ce travail est représenté par

$$T_2 a = 1\,000\,(D - K\,F)$$

où D est l'écartement total, F la flèche de la traverse en son milieu et K un coefficient égal à $\frac{4h}{a+l}$, dans laquelle *(h)* est la hauteur à laquelle la pression est exercée au-dessus du patin, *(a)* la largeur du patin qui se déverse et *(l)*, la demi-distance entre les bords intérieurs des patins.

Il porte alors en abcisses les pressions en kilogrammes, en ordonnées les écartements en dixièmes et obtient ainsi graphiquement, le travail des assemblages étudiés et leurs déformations permanentes.

M. Schlüssel fait projeter de nombreux diagrammes ainsi obtenus sur des traverses isolées et jumelées et l'on peut voir que dans les traverses métalliques où le rail est rivé à la table et dans les traverses en béton armé où l'adhérence préalable est obtenue, les déformations sont élastiques, les courbes des charges et des décharges se superposent ; les traverses en bois au contraire donnent lieu à des graphiques dans les-

quels les courbes des charges et des décharges se suivent sans jamais se superposer

Pour arriver à un nouvel état d'équilibre dans le bois il faut laisser la charge horizontale en permanence, son action continue fait pénétrer successivement les filets des tirefonds dans le bois et le mouvement ne s'arrête que lorsque la pression unitaire ne dépasse plus la limite d'élasticité du bois ; ce résultat ne s'obtient qu'au bout de quelques jours.

A l'enlèvement de la charge, le bois surcomprimé se distend lentement sans jamais revenir à son point de départ.

Si par un balancement de la charge on substitue à la charge morte une succession de charges vives, le système matériel fait ressort et le travail total des assemblages augmente immédiatement, produisant en quelques secondes les mêmes résultats que la charge morte en plusieurs heures.

M. Schlüssel dit que les expériences dont il vient de faire passer les diagrammes en projection ont été contrôlées par notre collègue M. Calvé, Ingénieur-chef du service des voies et accès du Métropolitain ; il le remercie vivement de la peine qu'il a prise et pour l'aide qui lui a été donnée en lui fournissant les matériaux d'épreuve les plus divers.

M. Schlüssel dit qu'il répétera ces expériences devant les Ingénieurs des voies de nos Compagnies de chemins de fer quand ils le désireront, une invitation particulière à chacun d'eux leur ayant été adressée depuis le 7 juillet dernier ; il y invite également ceux de nos collègues que ces essais intéressent.

Passant aux déformations du ballast, M. Schlüssel montre que la conservation du ballast et par conséquence celle de son élasticité est liée à une large répartition des charges, et que la limitation des déformations permanentes en déformations élastiques peut être obtenue pratiquement, c'est-à-dire économiquement par l'augmentation des surfaces d'appui, ce moyen étant en même temps le principal facteur de l'augmentation de la cohésion et de l'enracinement des traverses.

Après avoir examiné les déformations permanentes des parties constitutives des voies, M. Schlüssel dit que ces analyses particulières lui permettent d'expliquer tous les mouvements des voies.

Il refait succinctement la démonstration des effets de cheminement qu'il a donnée dans la communication déjà parue, il explique les surécartements et les rétrécissements des voies, ceux-ci étant la conséquence de ceux-là en permettant un martelage du bois à l'arrivée des charges. Enfin, les chocs aux joints des rails, M. Schlüssel constate qu'ils sont bien la conséquence de déversements inégaux du rail amont et du rail aval d'un même joint, puisque les graphiques de M. Cuénot, qu'il fait projeter, accusent des chocs plus considérables sur le joint du grand rayon où les actions de déversement sont les plus grandes.

Il en conclut que pour donner au rail aval le même dévers qu'au rail amont d'un même joint, il faut en arriver au joint appuyé, mais appuyé par une compression préalable des deux abouts, capable de communiquer ce même dévers par la seule flexion réduite de la traverse, comme il l'a obtenu sur des traverses isolées en substituant aux rails pleins des joints éclissés ordinairement, lesquels n'apportent aucune

variation sensible dans le travail des assemblages des joints, les poussées étant faites soit sur le rail amont, soit sur le rail aval, soit au joint lui-même.

M. Schlüssel passe rapidement en revue les moyens employés par les Compagnies pour s'opposer aux déformations permanentes des voies, il constate qu'aucun de ceux employés actuellement ne supprime les chocs, parce qu'ils ne sont en somme que des consolidations du tirefond, lequel est la véritable cause des déformations permanentes.

Il met en opposition les moyens qu'on peut employer pratiquement pour ramener les déformations permanentes à l'état de déformations élastiques et qui découlent de la théorie émise par lui.

C'est, pour le rail, une grande rigidité rendant possible une diminution de son poids dès que l'adhérence préalable, donnée sur toutes les traverses, l'aura soudé sur elles et triplé ainsi économiquement la masse résistante.

C'est, pour les traverses et le ballast, l'abandon du bois et l'adoption du métal protégé, c'est-à-dire du béton armé dont le moulage des formes permet l'enracinement de la voie et l'augmentation de la cohésion des traverses dans le ballast.

La rigidité doit être augmentée, la longueur doit être courte, 2,20 m à 2,30 m, le bourrage symétrique par rapport à l'axe de la voie, les joints appuyés et chevauchés.

Pour les attaches, M. Schlüssel rejette le tirefond incapable de trouver un point d'appui sérieux dans le bois, et remplace le tirefond par des pièces métalliques prenant leur point d'appui sur l'armature basse de traverses en béton, l'adhérence préalable étant obtenue minimum sous la plus forte charge verticale et maximum sous les plus fortes actions horizontales qui se peuvent produire sur les voies déchargées.

Il obtient cette adhérence préalable par des coins et ressorts toujours en contact et dans lesquels la résistance pratique des matières employées n'est pas dépassée.

Résumant toute la théorie et pratique des voies ferrées futures, M. Schlüssel dit qu'elle est basée pratiquement sur une liaison plus intime des éléments constitutifs des voies et la substitution aux masses indépendantes que sont actuellement les rails, les traverses et le ballast, de la masse unique et totale de ces trois éléments.

M. le Président demande si personne n'a de question à poser à M. Schlüssel.

Il indique que M. Schlüssel a fait la critique des voies actuelles : il a formulé un desideratum, mais n'a pas indiqué le moyen de le réaliser.

R. Schlussel dit qu'il regrette de ne pouvoir donner satisfaction à la demande de M. le Président; il ne veut pas profiter de la liberté de la tribune des Ingénieurs Civils pour faire de la réclame à ses voies, dont la description, d'ailleurs, a paru dans le *Génie Civil;* il estime que de cette façon il conservera à sa communication le caractère scientifique qu'il a voulu lui donner, se réservant de synthétiser dans une des communications qui suivront et qu'il compte faire sur les déformations

permanentes du bois tirefonné et le travail des assemblages des voies ferrées actuelles.

M. le Président constate l'intérêt des études de M. Schlüssel, qui tendent à augmenter la sécurité de tous en chemin de fer.

Personne ne demandant la parole, M. le Président remercie vivement M. Schlüssel de son intéressante communication et il laisse cette étude à continuer.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. E. André, G.-A.-M. Arnaud, J. Bouygues, W.-A. Brandès, L. Charalansby, P.-G. Couade, H. Jarnier, L.-H. Ganet, W.-A. Kopp, G.-A. Lambert, H.-A. Singrün, F.-J. Singrün, S. Corcotsaki, Ch. Yaher, comme Membres Sociétaires Titulaires, et de celle de M. P. Dibós, comme Membre Sociétaire Assistant.

M. Bretislao Manoel de Castro, junior, est admis comme Membre Sociétaire Titulaire, et MM. L.-M.-E. de Larré de la Dorie, S. Renault, H.-E. Sarrade sont admis comme Membres Sociétaires Assistants.

La séance est levée à onze heures cinq.

L'un des Secrétaires techniques,

P. Bouzanquet.

LE

CONCOURS DE VÉHICULES INDUSTRIELS

ORGANISÉ PAR

L'AUTOMOBILE CLUB DE FRANCE

EN 1908 (1)

L'ÉVOLUTION DU VÉHICULE INDUSTRIEL

PAR

M. G. LUMET

J'eus l'honneur, en 1905, de présenter à la Société des Ingénieurs Civils le rapport du Concours international de Véhicules Industriels, organisé par l'Automobile Club de France.

J'exposais alors les progrès réalisés et je donnais les résultats de concours antérieurs également contrôlés par l'A. C. F.

L'épreuve de 1905 marque une date dans l'histoire du véhicule dit « poids lourd ». Elle fut, en effet, la première réellement importante, réellement probante aussi, tant par le nombre des véhicules engagés que par les difficultés du programme.

En juin 1906, l'Automobile Club du Nord, à l'occasion de l'Exposition internationale des Produits textiles à Tourcoing, avec le patronage de l'A. C. F., organisa une épreuve particulièrement intéressante en raison des difficultés de la route.

En décembre de la même année, le Ministère de la Guerre et l'A. C. F. organisèrent une nouvelle épreuve, suivie en 1907 d'un nouveau Concours de véhicules industriels.

En 1908, enfin, eut lieu le Troisième grand Concours, dont nous allons nous occuper plus spécialement.

De même qu'en 1907, cette épreuve fut placée sous le haut

(1) Voir le Bulletin de juin 1908, page 917.

patronage du Ministère de la Guerre et organisée avec son appui.

Nous exposerons rapidement l'organisation de ce Concours, organisation complexe à laquelle présida M. le marquis de Dion, président de la Commission des concours de l'A. C. F., aidé de notre collègue M. G. Longuemare, commissaire général de l'épreuve. Un jury mixte, composé de membres de la Commission des Concours et d'officiers délégués du Ministère de la Guerre, présidé d'ailleurs par le général Laffon de Ladébat, sous-chef de l'État-Major général de l'armée, suivit attentivement toutes les opérations du Concours. Celles-ci étaient, de plus, placées sous le contrôle technique de délégués de la Commission technique de l'A. C. F., que préside M. A. Loreau, notre ancien président.

Les véhicules industriels étaient effectivement surveillés par des officiers-commissaires pendant la route et soumis au régime des parcs fermés aux gîtes d'étapes.

Les officiers-commissaires dressaient des rapports journaliers centralisés par la Commission technique de l'A. C. F. chargée du rapport général.

Sans donner le règlement *in extenso*, il est indispensable de connaître les conditions générales de l'épreuve. Aussi les indiquerons-nous rapidement.

Les véhicules étaient rangés en catégories et un article du règlement les déterminait ainsi qu'il suit :

Catégories.

Les véhicules sont divisés en neuf catégories, les sept premières étant réservées aux véhicules transportant les marchandises.

1re *Catégorie*.	— Véhicules	transportant de	50 à 200 kg
2e	—	—	—	201 à 900
3e	—	—	—	901 à 1 500
4e	—	—	—	1 501 à 2 000
5e	—	—	—	2 001 à 3 000
6e	—	—	—	plus de 3 000
7e	—	Trains sur route.		

8e — Véhicules de transport en commun pouvant contenir de six à dix personnes assises : intérieur, impériale ou places à côté du conducteur (conducteur non compris).

9e — Véhicules de transport en commun pouvant contenir plus de dix personnes assises : intérieur, impériale ou places à côté du conducteur (conducteur non compris).

Aucun véhicule ne devra peser, chargé, plus de 4 t par essieu.

Les trains sur route qui transporteraient des voyageurs seront considérés comme véhicules de transport en commun et classés dans la 9e catégorie, dont ils devront remplir toutes les conditions au point de vue, tant des épreuves éliminatoires que de l'épreuve de consommation.

Un concours spécial de fiacres automobiles était prévu, et dans les données techniques de l'épreuve, nous avons noté celles qui concernent les fiacres comme si ces véhicules spéciaux appartenaient à une catégorie du Concours de véhicules industriels. C'est d'ailleurs ainsi que fut contrôlée cette épreuve spéciale.

Le Concours comprenait une épreuve éliminatoire d'endurance et une épreuve finale de classement par la consommation à la tonne-kilomètre utile, en tenant compte de la vitesse jusqu'à une certaine limite imposée.

L'article du règlement qui concerne les vitesses était le suivant :

Vitesses. Étapes.

Afin d'assurer la plus grande régularité de marche possible, une vitesse maximum et une vitesse minimum sont imposées.

La vitesse moyenne maximum, qui ne doit jamais être dépassée dans chaque section, a été fixée à 25 km à l'heure pour toutes les catégories.

La vitesse minimum à :

1re	catégorie :	12	km à l'heure.
2e	—	12	—
3e	—	12	—
4e	—	10	—
5e	—	10	—
6e	—	10	—
7e	—	8	—
8e	—	12	—
9e	—	12	—

Les étapes seront de 150 km environ par jour pour les sept premières catégories, et de 200 km environ pour les 8e et 9e.

Afin d'éviter les excès de vitesse, chaque étape sera divisée en un très grand nombre de sections et les commissaires seront informés du temps nécessaire pour parcourir chacune de ces sections à la vitesse maximum. Toutes les fois qu'un véhicule aura parcouru une section trop rapidement, son commissaire devra le retenir au point de sectionnement jusqu'au moment où ce véhicule aurait dû y passer s'il avait marché à la vitesse maximum.

En ce qui concerne la vitesse moyenne minimum, on ne considérera que l'étape entière. Il ne sera admis aucune réclamation contre le kilométrage officiel.

En outre des prescriptions concernant les vitesses minima et maxima, les précautions les plus rigoureuses étaient prises pour les réparations, et des prescriptions spéciales étaient faites pour les bandages.

Réparations. Pièces poinçonnées.

Les pièces de chaque véhicule sont réparties en trois catégories :

1re catégorie. — Pièces que l'on peut changer à volonté et indiquées dans la nomenclature suivante :

Bougies, soupapes, clapets, boulons, écrous, goupilles, ressorts divers de mécanique, accessoires divers de fixation des bandages, billes de roulements, joints et tuyaux en caoutchouc.

2e catégorie. — Pièces poinçonnées qui ne peuvent être remplacées que par des pièces poinçonnées de même nature, et dont le concurrent pourra emporter une quantité ainsi limitée :

En cas d'allumage par magnéto : 1 magnéto et sa chaîne.
— par accumulateur : 1 bobine.
— par accumulateur : 4 éléments de 2 volts (soit au total 8 volts).
— par magnéto et bobine : 1 magnéto.
— — 1 bobine.
— par magnéto et accumulateur : 1 magnéto et sa chaîne ou 1 bobine.
— par magnéto et accumulateur : 4 éléments de 1 volt.

1 ressort avant.
1 jeu de frein.
1 ressort arrière.
1 chaine pour voiture à chaine.
1 cardan.
1 flotteur par niveau constant de carburateur et pièces de réglage du ou des carburateurs.

Pour les machines à vapeur: 1 brûleur complet.
— 1 tube de chaudière de rechange et ses éléments d'assemblage.

Toutes les pièces de rechange devront se trouver à bord et seront comptées en surcharge.

Il ne pourra y avoir que deux hommes par voiture comme personnel du bord et eux seuls pourront toucher à la voiture.

3e catégorie. — Toutes les autres pièces non comprises dans les deux catégories désignées ci-dessus ne peuvent être changées sous aucun prétexte. Toute tentative de fraude entraînera l'exclusion immédiate.

Roues et Bandages.

L'usage du pneumatique est interdit. Pendant toute la durée du concours, aucune roue, aucun bandage, ni pavé de caoutchouc, ni pièces de roues ordinaires ou élastiques, autres que celles prévues par l'article 4, ne pourra être remplacé.

Ces prescriptions étaient complétées par un article du règlement qui disait que *le cas de force majeure ne serait jamais admis comme justification d'un retard ou d'un manquement quelconque au règlement.*

Enfin l'épreuve de consommation servant au classement faisait l'objet de l'article suivant du règlement :

Classement. Épreuve de consommation

Il y aura un classement par catégorie. Le classement se fera entre les véhicules ayant accompli toutes les étapes dans les délais voulus, au moyen d'une épreuve de consommation à la tonne-kilomètre utile (en tenant compte du temps employé pour le parcours), aussi bien pour les véhi-

TABLEAU

CATÉGORIES	NUMÉROS	CONSTRUCTEURS
1re catégorie (de 50 à 200 kg)	»	»
2e catégorie (de 201 à 900 kg)	19	Panhard et Levassor
3e catégorie (de 901 à 1 500 kg)	1	De Diétrich
	9	De Dion-Bouton
	20	Panhard et Levassor
	23	Brouhot
4e catégorie (de 1 501 à 2 000 kg)	16	Automobiles Peugeot
	30	Berliet I
	31	Berliet II
5e catégorie (de 2 001 à 3 000 kg)	21	Panhard et Levassor
	22	Vinot et Deguingand
	25	Saurer I
	32	Berliet III
	33	Berliet VI
6e catégorie (plus de 3 000 kg)	2	De Diétrich
	11	De Dion-Bouton
	13	Bretin-Cohendet
	14	Bretin-Cohendet
	26	Saurer II
	35	Berliet IV
7e catégorie (trains)	»	»
8e catégorie (de 6 à 10 personnes assises)	3	De Diétrich
	12	De Dion-Bouton
	36	Berliet VII
	37	Berliet VIII
9e catégorie (plus de 10 personnes)	4	De Diétrich
	27	Saurer III
Fiacres automobiles	64	Bayard-Clément
	65	Automobiles Brouhot
	66	—
	67	—
	70	Doriot-Flandrin
	71	Gladiator
	72	Brasier I
	73	Brasier II
	76	Lethimonnier

DES DENSITÉS

NATURE DU COMBUSTIBLE	DENSITÉS MOYENNES vérifiées	OBSERVATIONS
»	»	
Benzol Leprêtre	870 à 25°	
Essence automobiline Desmarais	713 à 25°	
Benzol Société Huil. min. de Colombes	868 à 25°	
Benzol Leprêtre	871 à 25°	
Alcool carburé 50 0/0 Leprêtre	830 à 25°	
Essence motoline Leprêtre	712 à 25°	
—	714 à 25°	
—	713 à 25°	
Benzol Leprêtre	871 à 25°	
White Spirit Leprêtre	748 à 25°	D = 0,756 à 15°
—	748 à 25°	—
Essence motoline Leprêtre	713 à 25°	
—	712 à 25°	
Essence automobiline Desmarais	711 à 25°	
Benzol Société Huil. min. de Colombes	867 à 25°	
—	868 à 25°	
—	867 à 25°	
White Spirit Leprêtre	747 à 25°	D = 0,755 à 15°
Essence motoline Leprêtre	713 à 25°	
—	»	
Essence automobiline Desmarais	713 à 25°	
Benzol Société Huil. min. de Colombes	868 à 25°	
Essence motoline Leprêtre	712 à 25°	
—	714 à 25°	
Essence automobiline Desmarais	713 à 25°	
White Spirit Leprêtre	748 à 25°	D = 0,756 à 15°
Alcool carburé 50 0/0 Leprêtre	821 à 25°	
—	824 à 25°	
—	822 à 25°	
—	820 à 25°	
—	831 à 25°	
—	821 à 25°	
—	831 à 25°	
—	796 à 25°	
—	807 à 25°	

Étude des combustibles employés, au moyen de la distillation fractionnée.

1° Benzol Leprêtre (prélevé sur la voiture n° 21).

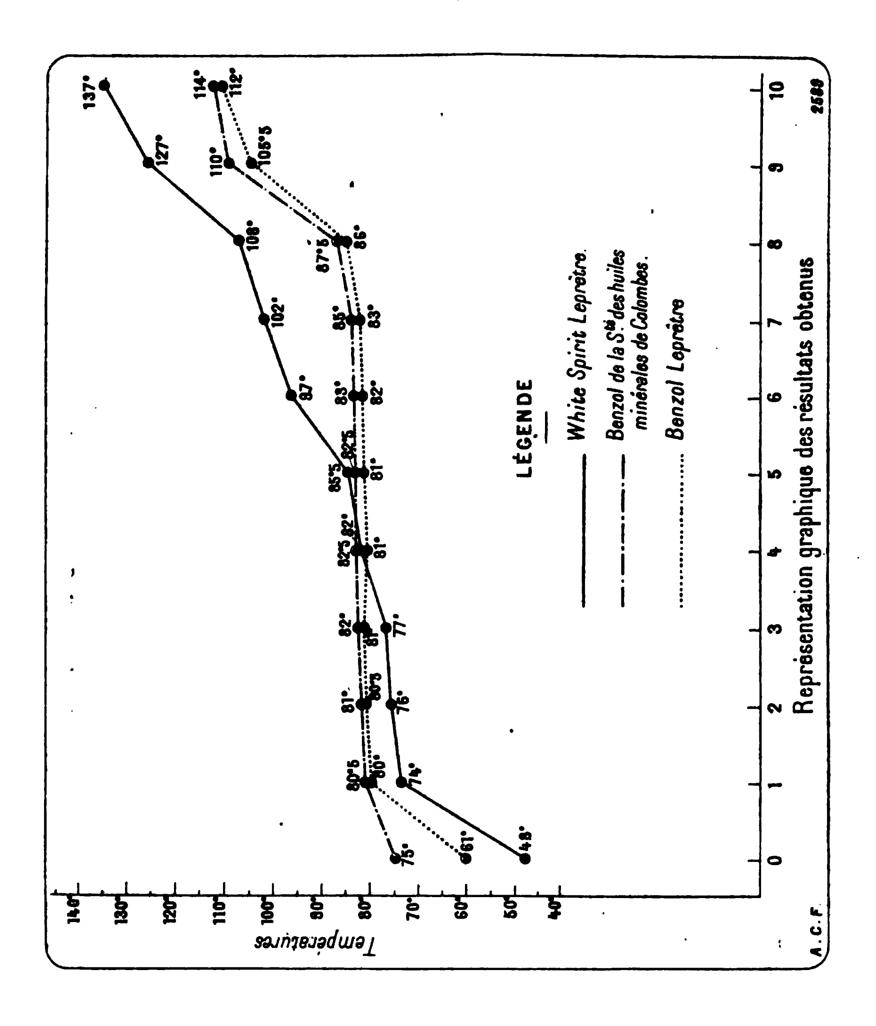
Numéros des fractionnements.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalles de températures. degrés.	61 — 80	80 — 80,5	80,5 — 81	81 — 81	81 — 81	81 — 82	82 — 83	83 — 86	86 — 105,5	105,5 — 112
Densités à 29 degrés C.	0,853	0,868	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,870	0,875

2° White spirit Leprêtre (prélevé sur la voiture n° 27).

Numéros des fractionnements.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalles de températures. degrés.	48 — 74	74 — 76	76 — 77	77 — 82	82 — 84,5	85,5 — 97	97 — 102	102 — 108	108 — 127	127 — 137
Densités à 29 degrés.	0,729	0,735	0,739	0,742	0,742	0,745	0,750	0,756	0,761	0,781

3° Benzol de la Société des Huiles minérales de Colombes (prélevé sur la voiture n° 9).

Numéros des fractionnements.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalles de températures. degrés.	75 — 80,5	80,5 — 81	81 — 82	82 — 82,5	82,5 — 82,5	82,5 — 83	83 — 85	85 — 87,7	87,7 — 110	110 — 114
Densités à 29 degrés.	0,865	0,866	0,868	0,869	0,870	0,870	0,875	0,875	0,878	0,880



Températures
140°
130°
120°
110°
100°
90°
80°
70°
60°
50°
40°
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
LÉGENDE
White Spirit Leprêtre.
Benzol de la Sté des huiles minérales de Colombes.
Benzol Leprêtre
137°
127°
108°
102°
97°
114°
112°
110°
105°5
86°
83°
82°
81°
77°
76°
75°
74°
61°
48°
A.C.F.
2588
Représentation graphique des résultats obtenus

cules transportant les voyageurs que pour les autres, d'après la formule :

$$\frac{TC}{PD}$$

dans laquelle T est la durée en heures;
— C la consommation de combustible employé pendant l'épreuve (en francs);
— D la distance parcourue en kilomètres;
— P la charge utile transportée (à laquelle est ajouté le poids de la carrosserie) en kilogrammes.

Il ne sera pas tenu compte des vitesses supérieures à 20 km à l'heure pour les 1re, 2e, 3e, 8e et 9e catégories, et à 15 km pour les 4e, 5e, 6e et 7e catégories.

Au point de vue de l'épreuve de consommation, la carrosserie sera considérée comme charge utile. (Pour les trains automobiles, ce poids ne comprend, bien entendu, que la carrosserie des remorques). Les concurrents devront signer une déclaration du poids de la carrosserie. Il est accordé une tolérance de 5 0/0 pour cette déclaration, dont l'inexactitude au delà de cette limite entraînerait la disqualification et une amende de 1.000 f.

Les combustibles compris dans une liste qui sera communiquée ultérieurement avec les prix, seront choisis par le concurrent quinze jours avant l'épreuve et délivrés par l'organisation.

Itinéraire. — L'itinéraire s'étendait dans le Nord et l'Est de la France et rayonnait en étoiles autour de quelques grandes villes : Rouen, Amiens, Lille, Reims, Nancy, Dijon.

De Dijon les véhicules, par Auxerre et Fontainebleau regagnaient Paris.

C'est entre Auxerre et Fontainebleau que l'on procéda à la vérification de la consommation en combustible.

Les véhicules transportant des marchandises parcoururent 3 001 km, les véhicules de transport en commun, 3 899 km, et les fiacres, 3 924 km.

Il y eut vingt-trois étapes.

Quarante-sept véhicules prirent le départ et nous donnons dans la planche 167 leurs caractéristiques.

Au cours de l'épreuve et, après chaque étape, des prélèvements d'échantillons de combustibles étaient effectués d'après les instructions données aux chefs de parc.

Ces échantillons étaient immédiatement envoyés au Laboratoire de l'Automobile-Club où leur densité était vérifiée.

L'étude par distillation fractionnée des benzols et du white spirit fut faite par M. Ventou-Duclaux, ingénieur-chimiste, attaché au Laboratoire.

Les résultats de ces différentes observations sont relevés dans les tableaux ci-dessus (pages 578 à 581).

Les tableaux de la planche 168 résument les données techniques de l'épreuve.

Un premier tableau donne les incidents de l'épreuve d'endurance à la suite desquels les véhicules n'étaient plus qualifiés pour l'épreuve de consommation.

Le deuxième tableau donne les résultats de l'épreuve de consommation.

Le tableau ci-après donne les vitesses moyennes réalisées pendant cette épreuve spéciale.

La formule de classement tenait compte, comme nous l'avons déjà dit, de cette vitesse, et les temps mis qui figurent dans le troisième tableau ont servi au calcul de $\frac{TC}{PD}$ que nous retrouvons dans le deuxième tableau.

Nous reproduisons les conclusions du rapport qui fut adopté par la Commission Technique de l'Automobile Club de France.

CONCLUSIONS.

De même qu'en 1907, nous devons enregistrer la tendance qu'ont eue les constructeurs à établir, pour le Concours, des véhicules portant une charge utile (sans carrosserie) comprise entre 2500 et 3500 kg. Ce sont les cinquième et sixième catégories qui renferment le plus grand nombre de concurrents.

Il faut noter que cette tendance est née des conditions posées par l'autorité militaire. Au point de vue consommation, nous notions, en 1907, des chiffres de 0,063 l à la tonne-kilomètre totale avec l'essence comme combustible, et cette année, nous notons pour le même combustible, les chiffres de 0,063 l; 0,062; 0,060; 0,055; 0,054; 0,053; 0,042; 0,039 et cela pour des véhicules de caractéristiques assez voisines.

Avec le benzol, les chiffres de consommation à la tonne-kilomètre totale sont de 0,058 l; 0,055; 0,053; 0,048; 0,043; 0,041, chiffres voisins des précédents.

Tableau des vitesses moyennes pendant l'épreuve de consommation.
Itinéraire Auxerre-Fontainebleau. — 22e étape ; 30 mai.

NUMÉROS des VÉHICULES	NOMS des CONSTRUCTEURS	LONGUEUR DE L'ÉTAPE en km	DURÉE DU TRAJET en minutes	Vitesse moyenne EN KM par heure
	2e Catégorie			
19	Panhard-Levassor	112	328	20,4
	3e Catégorie			
1	Lorraine-Diétrich	112	196	34,2
9	De Dion-Bouton	112	327	20,5
20	Panhard-Levassor	112	311	21,6
23	Brouhot	112	292	23
	4e Catégorie			
16	Peugeot	112	375	17,9
30	Berliet I	112	317	21,1
31	Berliet II	112	316	21,2
	5e Catégorie			
21	Panhard-Levassor	112	427	15,7
22	Vinot-Deguingand	112	388	17,3
25	Saurer I	112	345	19,4
32	Berliet III	112	443	15,1
33	Berliet IV	112	444	15,1
	6e Catégorie			
2	Lorraine-Diétrich	112	314	21,4
11	De Dion-Bouton	112	232	28,9
13	Bretin-Cohendet	112	380	17,6
14	Bretin-Cohendet	112	373	18
26	Saurer II	112	342	19,6
35	Berliet VI	112	495	13,5
	8e Catégorie			
3	Lorraine-Diétrich	112	231	29
12	De Dion-Bouton	112	325	20,6
36	Berliet VII	112	244	27,5
37	Berliet VIII	112	225	29,8
	9e Catégorie			
4	Lorraine-Diétrich	112	270	24
27	Saurer III	112	271	24,7
	Fiacres			
64	Bayard-Clément	112	164	40
65	Brouhot	112	220	30,5
66	Brouhot	112	207	32,4
67	Brouhot	112	216	31,1
70	Doriot-Flandrin	112	204	32,9
71	Gladiator	112	128	52,5
72	Brasier I	112	151	44,5
73	Brasier II	112	165	40,7
76	Lethimonnier	112	168	40

Avec le white spirit, on a relevé des chiffres de 0,056 l; 0,055; 0,039; 0,036; 0,027.

Dans la catégorie *fiacres*, la consommation en alcool carburé 50 °/₀ avait été, l'an dernier, pour les résultats les meilleurs, 0,104 l, 0,105, et cette année, avec le même combustible, on a obtenu 0,096 l; 0,086; 0,075 et 0,053.

À la tonne-kilomètre totale, on avait atteint en 1907 le chiffre de 0,091 l et cette année, on a obtenu le chiffre de 0,043 l.

Ces résultats sont particulièrement intéressants à noter, car ils marquent un progrès indéniable, alors même qu'on puisse objecter des conditions plus favorables au point de vue de la route.

Lors du concours dernier, nous disions dans notre rapport : « Le Concours de 1907 a démontré que les roues ne sont pas faites pour ces vitesses ; que les bandages sont arrachés, que les blocs de caoutchouc volent en éclats. » Nos conclusions ne sauraient être les mêmes, cette année.

Le programme du concours tint compte des observations que la Commission avait bien voulu approuver, et cette année nous n'avons plus à enregistrer les mêmes incidents.

Les bandages caoutchouc sont en parfait état. Certains seuls sont écaillés, et encore faut-il attribuer ces avaries plutôt aux bandages eux-mêmes, qu'aux services qu'on exige d'eux, puisque certains d'entre eux, soumis aux mêmes efforts, mais de marques différentes, étaient absolument intacts. Nous savons bien qu'il faut tenir compte des conditions dans lesquelles on utilise la puissance motrice, qu'il faut tenir compte également des conditions dans lesquelles les voitures sont conduites.

Les bandages en fer ne semblent pas avoir donné les résultats espérés par l'autorité militaire.

Nous avions toujours fait les plus expresses réserves sur l'usure possible du châssis provenant des trépidations dues au défaut d'élasticité des bandages. Le temps pluvieux tout d'abord, puis particulièrement favorable et chaud, dont nous avons bénéficié pendant le concours, a mis en très mauvaise posture les roues à bandages en fer.

Lorsque l'on examine ces roues, on voit que : 1° le métal a subi une compression telle qu'il a été écrasé, qu'il a débordé des deux côtés de la jante en bois, formant des boudins métalliques qui tendent à se cisailler au droit du plan des faces avant et

arrière de la jante en bois. Pour certains véhicules, une bavure seule existe des deux côtés.

2° Non seulement le bandage a éprouvé les effets nuisibles de la compression, mais encore il a travaillé à la traction ; le bandage s'est allongé et, la chaleur aidant, les jantes en bois se sont disjointes, et dans certains véhicules elles ont abandonné la roue.

Les bandages en caoutchouc, avons-nous dit, étaient, le plus souvent, en bon état. Les conditions du concours imposaient aux véhicules des vitesses maxima différant suivant les catégories; de plus, les commissaires arrêtaient les véhicules en des points de sectionnement, ce qui rendait inutiles les excès de vitesses, si funestes aux bandages.

Ces conditions, jointes à l'impossibilité où se trouvaient les concurrents de changer les bandages, firent qu'on n'eut pas à enregistrer d'excès de vitesse.

Or, les vitesses moyennes réalisées sont très comparables à celles de l'an passé et nous pouvons, par suite, conclure à la plus grande régularité de marche des véhicules.

L'excès de vitesse est, non seulement funeste aux bandages du fait de la vitesse, mais encore du fait des freinages brusques consécutifs à l'excès de vitesse.

La conduite sage d'un véhicule industriel, la progressivité dans les démarrages et dans les freinages, sont des facteurs très importants de l'économie dans l'usure des bandages en caoutchouc et nous enregistrons avec satisfaction que les conditions du concours qui conseillaient cette manière d'agir en ont mis les avantages en complète évidence.

Au cours de l'étape pendant laquelle on releva les consommations, le sectionnement de la route n'existait plus, les concurrents étaient libres de marcher à la vitesse qui leur convenait sans que, toutefois, dans les calculs, cette vitesse pût intervenir au delà des vitesses maxima imposées.

Pour cette épreuve, les voitures étaient dans des conditions spéciales, tout à fait à la fin du concours. Il s'agissait de faire rendre au moteur son maximum d'effet utile, au point de vue de l'utilisation du combustible. Les concurrents connaissaient les conditions de vitesse angulaire, correspondant au maximum du couple moteur, c'est-à-dire la vitesse angulaire du moteur à laquelle correspondait la meilleure utilisation des cylindrées.

Or, la route était sensiblement plane ; ils savaient par suite

quelle vitesse linéaire devaient posséder leurs véhicules et ils bénéficièrent ainsi de leurs observations judicieuses.

Les combustibles donnent lieu à d'intéressantes observations.

Des prélèvements d'échantillons ont été faits, les analyses par distillations fractionnées ont été faites, avec le plus grand soin, par M. Ventou-Duclaux.

Il faut en conclure que :

1° Pour le white spirit, la distillation a été effectuée entre 48 et 137 degrés et que, comme le montre le graphique, cette distillation a été parfaitement régulière, indiquant un produit bien homogène, très intéressant au point de vue de sa préparation, qui relève surtout des travaux ordinaires d'un laboratoire;

2° En ce qui concerne le benzol, d'après les indications que nous fournissent les excellentes études de M. Sorel, il nous est possible de conclure que, d'après notre analyse par distillation fractionnée, nous avons un produit qui, pour les 8/10, est composé de benzine cristallisable avec addition de toluène. Nous constatons de plus qu'en fin de distillation, nous réalisons la température de 112 degrés, alors que le point noté par Sorel pour le toluène est de 111 degrés.

Il nous est par suite possible de conclure à l'absence de xylène, qui entre cependant dans la composition du benzol commercial.

Au point de vue purement mécanique, il nous faut noter d'assez nombreux encrassements de bougies, gommages de soupapes, échauffements de moteurs, pour les moteurs marchant au benzol, indiquant une étude insuffisante des conditions les meilleures d'utilisation d'un combustible nouveau et intéressant.

Ces incidents se reproduisent pour les moteurs marchant au white spirit. Ceci est pour nous une occasion nouvelle d'indiquer que nous considérons, comme une des conditions les plus favorables pour un règlement de concours de véhicules industriels, le choix d'un combustible unique, *sorti d'un même tonneau*, pour tous les véhicules.

Cette condition semble correspondre à une théorie qui nous apparaît très rationnelle : à savoir qu'à un moteur de caractéristiques déterminées ne convient qu'un combustible bien déterminé.

Il faut noter un point intéressant de ce Concours, qui résulte de l'emploi imposé par l'Autorité militaire, d'alcool carburé 50 %, pendant plusieurs étapes. Aucune observation n'a été relevée

par nous dans les rapports des commissaires, et la seule modification apportée était, le plus généralement, un changement de gicleur dans le carburateur.

L'évolution du véhicule industriel dit « Poids lourd ».

Les véhicules industriels dits *poids lourds* ont, depuis 1897, date à laquelle ils figurèrent dans le premier concours contrôlé par l'Automobile-Club de France, subi des transformations successives tendant toutes à l'amélioration des conditions économiques du transport industriel. Il nous est déjà possible, en étudiant l'évolution du *poids lourd*, d'apprécier les résultats acquis, de noter aussi les tendances de la construction, c'est ce que nous nous proposons de faire dans la petite étude qui suit. Nous n'avons envisagé que le véhicule muni de moteur à mélange tonnant et, suivant l'ordre chronologique des concours contrôlés par l'Automobile-Club de France, nous avons fait choix des véhicules les plus lourds figurant dans ces concours, nous appliquant à ne comparer, pour chaque année, que ceux de caractéristiques voisines. Nos comparaisons portent, tout d'abord, sur le premier concours de véhicules industriels, dit concours de poids lourds, qui fut présidé à Versailles par M. G. Forestier, puis sur le deuxième concours de poids lourds de 1898, puis sur le concours de voitures de place et voitures de livraison d'une charge minima de 500 kg de 1899.

En 1900, nous avons relevé des données pour l'épreuve des véhicules de poids lourds qui eut lieu à cette date, de même en 1902, dans l'épreuve de service urbain pour voitures de livraison.

Les comparaisons deviennent surtout intéressantes en 1905 où, sur un parcours de 875 km, fut disputée la première grande épreuve de véhicules industriels.

L'année 1906 nous permet d'enregistrer des résultats également intéressants dans l'épreuve de Tourcoing, qui eut lieu en juin, à l'occasion de l'Exposition internationale des industries textiles sur un parcours de 439 km. En novembre-décembre de la même année, l'épreuve Paris-Marseille-Paris où, pour la pre-

mière fois, l'autorité militaire exerçait un contrôle sévère, se disputa sur un parcours de 1 610 km. Les années 1907 et 1908 sont particulièrement fécondes en résultats probants dans les deux grands concours de véhicules industriels, où les poids lourds durent accomplir une randonnée de 3 000 km pour chaque épreuve.

Il a été dit souvent que, dans les concours, on ne recueillait pas tous les éléments susceptibles de renseigner les industriels sur les conditions possibles d'exploitation de transport par véhicules automobiles.

On ne peut malheureusement pas connaître, dans des épreuves de courte durée, toutes les données nécessaires à l'établissement d'un projet d'exploitation et, en particulier, celles afférentes à l'amortissement du matériel et à la dépense en bandages et en gros entretien.

Il est bon, cependant, de noter qu'en 1908, par les conditions mêmes du règlement de l'épreuve, il est possible d'évaluer la dépense maxima à prévoir dans un projet d'exploitation pour les bandages.

Le fait que ceux-ci ne pouvaient être remplacés en cours de route implique, en effet, que dans les conditions particulièrement sévères du concours, les bandages étaient susceptibles de résister au service exigé d'eux.

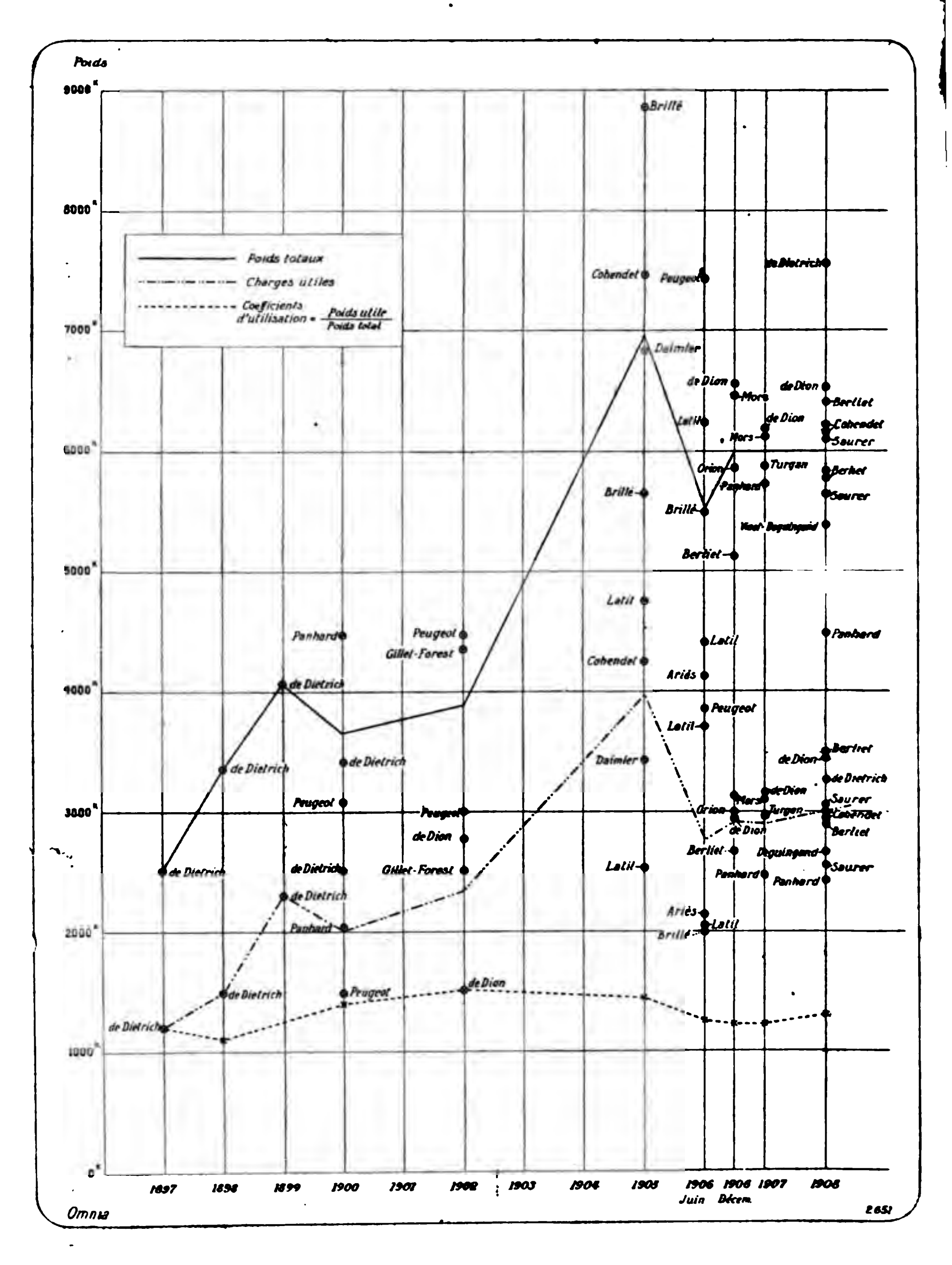
Mais en dehors de ces données incertaines, il en est d'autres qui comptent dans l'étude du problème d'exploitation et sur lesquelles nous possédons des renseignements précis.

Le coefficient d'utilisation d'une voiture, c'est-à-dire le rapport de la charge utile transportée au poids total du véhicule, la valeur de cette charge utile transportable, les conditions de vitesse moyenne susceptible d'être réalisée dans le transport, enfin la dépense en combustible pour ce transport sont des facteurs particulièrement intéressants de l'économie d'une exploitation.

Ce sont eux dont nous pouvons suivre les progrès par les graphiques que nous représentons ci-contre.

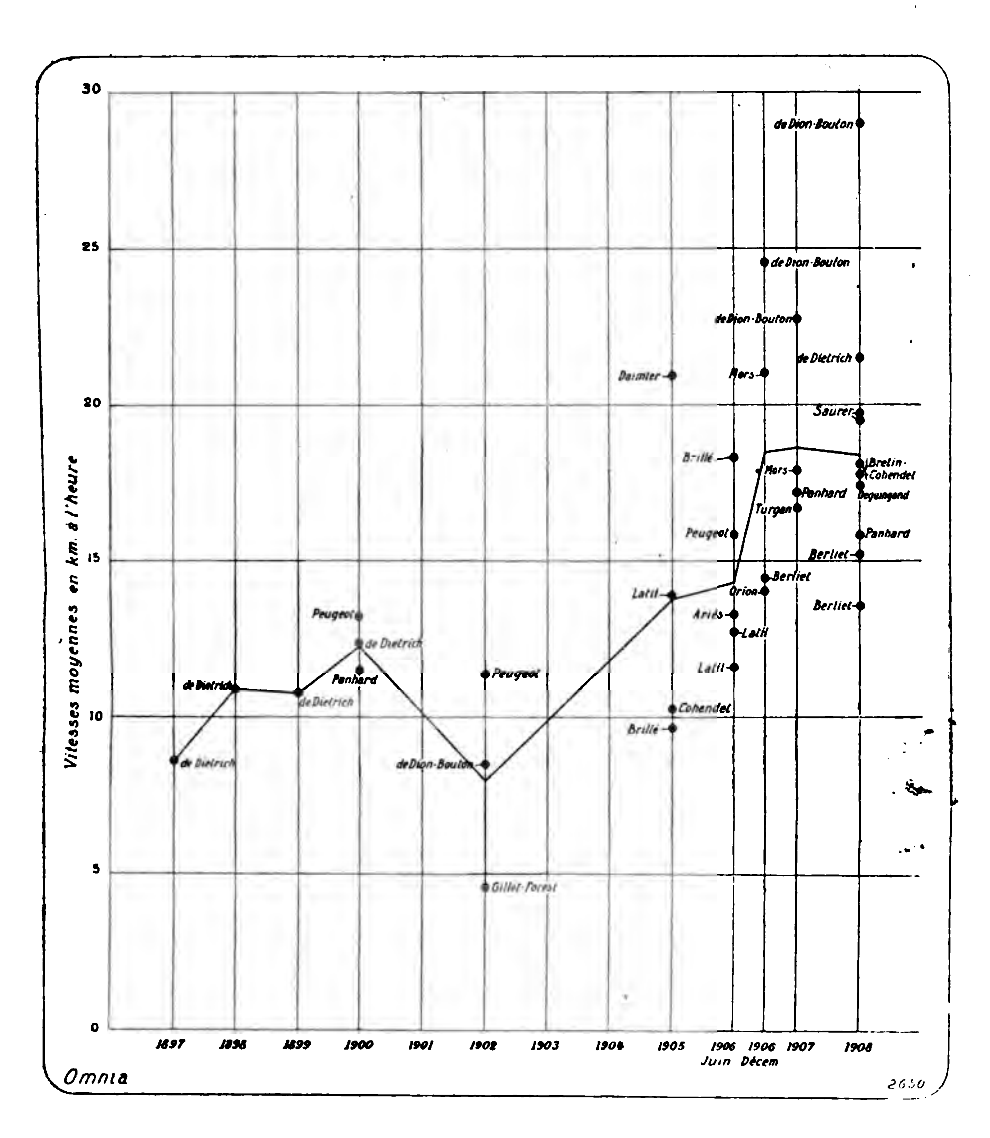
Pour l'établissement de ces graphiques, nous avons porté en abscisses les années qui marquent les étapes de l'évolution que nous nous proposons d'étudier ; en ordonnées, nous avons porté les données dont nous nous proposons de suivre l'évolution.

Ces données figurent d'ailleurs dans le tableau qui accompagne les graphiques.



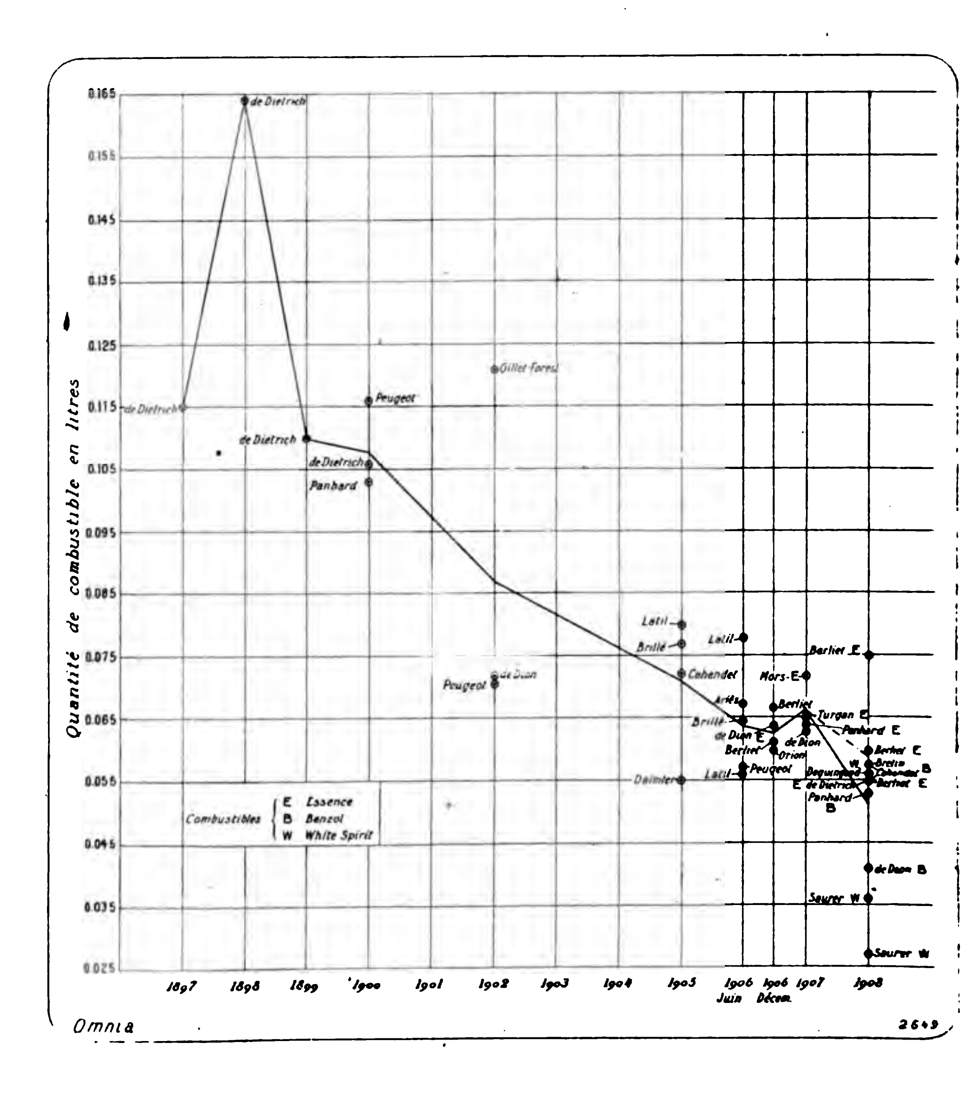
Graphique n° 1.

Graphiques caractéristiques des variations de poids.



Graphique n° 2.

Graphique caractéristique des variations des vitesses moyennes.



Graphique n° 3.

Graphique caractéristique des variations des consommations à la tonne-kilomètre utile.

ANNÉES	CONSTRUCTEURS	POIDS TOTAL en kg	CHARGE UTILE en kg	COEFFICIENT d'utilisation	CONSOMMATION à la tonne-kilomètre totale en litres	Vitesse moyenne (en km par heure)
1897 . . .	De Diétrich. . . .	2 500	1 200	48	0,115	8,500
1898 . . .	De Diétrich. . . .	3 370	1 500	44,5	0,164	10,800
1899 . . .	De Diétrich. . . .	4 084	2 300	56,5	0,110	10,680
1900 . . .	De Diétrich. . . .	3 410	2 500	73,3	0,106	12,200
1900 . . .	Peugeot	3 080	1 500	48,7	0,116	12,260
1900 . . .	Panhard	4 470	2 050	45,9	0,103	11,500
1902 . . .	De Dion-Bouton. .	2 780	1 523	54,7	0,0718	8,390
1902 . . .	Peugeot	4 490	2 500	55,6	0,0716	11,350
1902 . . .	Gillet-Forest . . .	4 360	3 000	68,8	0,1215	4,600
1905 . . .	Latil.	4 766	2 515	52,7	0,080	13,700
1905 . . .	Cohendet	7 455	4 260	54,4	0,072	10,200
1905 . . .	Brillié	8 802	5 652	64,2	0,077	9,600
1905 . . .	Daimler	6 809	3 431	50,3	0,055	20,800
1906 . . .	Latil.	4 400	2 060	46,7	0,078	12,709
1906 . . .	Ariès	4 103	2 163	52,6	0,067	13,278
1906 (juin) .	Brillié	5 535	2 025	36,6	0,064	18,246
1906 . . .	Latil.	6 250	3 700	59,1	0,056	11,616
1906 . . .	Peugeot	7 415	3 865	52,1	0,057	15,876
1906 . . .	Mors.	6 480	3 123	48,1	0,076	21
1906 (déc.) .	De Dion	6 550	2 948	45	0,081	24,5
1906 . . .	Orion	5 850	2 965	50,6	0,074	14
1906 . . .	Berliet.	5 120	2 680	52,3	0,087	14,4
1907 . . .	Turgan.	5 887	2 970	50,4	0,065	16,6
1907 . . .	Panhard-Levassor .	5 726	2 473	43,1	0,063	17,1
1907 . . .	De Dion-Bouton. .	6 182	3 110	50,3	0,064	22,7
1907 . . .	Mors.	6 174	3 083	49,9	0,072	17,8
1908 . . .	Panhard-Levassor .	4 484	2 407	53,7	0,053 (1)	15,7
1908 . . .	Vinot-Deguingand.	5 370	2 680	49,9	0,056 (2)	17,3
1908 . . .	Saurer I	5 625	2 560	45,5	0,036 (2)	19,4
1908 . . .	Berliet III	5 791	2 944	50,8	0,060 (3)	15,1
1908 . . .	Berliet IV	5 799	2 923	50,4	0,075 (3)	15,1
1908 . . .	Lorraine-Diétrich .	7 549	3 276	43,4	0,055 (3)	21,4
1908 . . .	De Dion-Bouton. .	6 533	3 440	52,6	0,041 (1)	28,9
1908 . . .	Bretin-Cohendet. .	6 153	3 001	48,7	0,058 (3)	17,6
1908 . . .	Bretin-Cohendet. .	6 164	3 000	48,6	0,055 (3)	18
1908 . . .	Saurer II.	6 149	3 047	49,5	0,027 (2)	19,6
1908 . . .	Berliet VI	6 402	3 508	54,8	0,055 (3)	13,5

(1) Benzol. — (2) White spirit. — (3) Essence.

Pour chaque graphique et par année nous avons porté en ordonnées les points caractérisant les véhicules intéressés en notant, près de ces points, le nom du constructeur des véhicules. Les sommets des graphiques correspondant à chaque année représentent la moyenne arithmétique des résultats figurés par les points.

Étudions désormais nos graphiques.

Dans le premier : graphique caractéristique des variations des poids, nous devons remarquer, tout d'abord, un point isolé en 1899; il nous faut comprendre que dans l'épreuve de cette année la voiture de Diétrich était seule concurrente : l'ordonnée de notre graphique ne correspond donc pas à une moyenne, mais bien à un résultat isolé.

Depuis 1897, nous notons jusqu'en 1905, en dehors de ce point isolé dont nous venons de parler, une élévation régulière des graphiques, tant pour les charges utiles que pour les poids totaux.

1905 marque un maximum et nous voyons le graphique s'abaisser en 1906, au concours de véhicules industriels de Tourcoing : cet abaissement est justifié par les conditions elles-mêmes du concours qui avait lieu dans la région du Nord sur des routes pavées qui conseillaient la prudence.

Il est intéressant de remarquer, qu'à partir du premier concours contrôlé par l'autorité militaire, en décembre 1906, le poids total moyen reste constant, alors que cependant nous pouvons enregistrer une légère augmentation de la charge utile transportée, augmentation que le graphique des coefficients d'utilisation nous reproduit.

Nous pouvons trouver l'explication de la constance du poids total dans l'étude des conditions imposées par le Ministère de la Guerre pour l'attribution des primes et l'achat de véhicules.

Nous rappelons ces conditions :

En 1907 : avoir une charge utile minimum de 2 000 kg;

Avoir un coefficient d'utilisation minimum de 50 0/0;

Avoir un poids total maximum de 6 000 kg;

En 1908 : Avoir une charge utile minimum de 2 000 kg;

Avoir un coefficient d'utilisation minimum de 50 0/0;

Avoir un poids mort maximum de 3 000 kg pour les voitures à deux essieux, ou de 4 000 kg pour les voitures à trois essieux.

Si nous étudions le graphique caractéristique des variations des coefficients d'utilisation, nous notons, jusqu'en 1902, un ac-

croissement de l'ordonnée moyenne, puis une dépression du graphique à dater de 1905. Il est facile d'expliquer ces faits, en se souvenant que les premières épreuves ne présentaient pas les difficultés des derniers concours; à partir de 1906, en effet, la longueur et le nombre des étapes augmentant, les conditions d'endurance exigées des véhicules deviennent plus sévères, et cependant le graphique se relève de façon régulière depuis 1906. Le progrès est surtout très net lorsqu'on compare l'année 1908 à l'année 1907. Nous le retrouvons d'ailleurs dans l'évaluation du pourcentage des véhicules non pénalisés à la fin des épreuves d'endurance.

En 1905, 57 véhicules prirent le départ, 37 arrivèrent, soit 65 0/0 de véhicules non pénalisés.

En l'année 1906, à Tourcoing, nous notons 25 véhicules partis, 13 arrivés, soit 52 0/0.

En 1907, 44 véhicules partis, 15 arrivés, soit 34 0/0.

En 1908, 47 véhicules partis, 33 arrivés, soit 70 0/0.

Si nous étudions le graphique caractéristique des vitesses moyennes, nous constatons une dépression en 1902 que nous pouvons expliquer par le fait que le concours eut lieu à Paris où les embarras de la circulation ne permettaient pas aux véhicules de donner leur mesure au point de vue de la vitesse.

Le graphique s'élève normalement, sauf en 1906 à Tourcoing, où les pavés de la région du Nord limitent la vitesse. Nous pouvons noter enfin, qu'en 1908, la vitesse moyenne est sensiblement égale à celle réalisée en 1907. Dans le graphique des caractéristiques des consommations à la tonne-kilomètre-totale, nous enregistrons une diminution constante de la consommation spécifique. Le point isolé de 1898 s'explique encore par le fait que la voiture de Diétrich était seule concurrente et que nous ne nous trouvons pas, par suite, en présence d'un résultat moyen.

En 1908, l'essence n'est pas employée seule comme combustible, aussi, avons-nous représenté, en pointillé, une partie du graphique pour laquelle l'ordonnée correspondante à 1908 du graphique pointillé est le résultat moyen des résultats obtenus avec les voitures utilisant l'essence comme combustible. L'ordonnée correspondant à la partie du graphique en trait plein est le résultat moyen pour tous les véhicules sans distinction de combustible.

LES

MOTEURS A MÉLANGE TONNANT

A GRANDE PUISSANCE MASSIQUE

RÉSULTATS D'ÉPREUVES DE CONSOMMATION

DANS LES MOTEURS A MELANGE TONNANT (1)

PAR

M. G. LUMET

Le moteur à mélange tonnant a permis, grâce à son faible poids, pour une puissance élevée, de créer la voiture automobile ; il a fait réaliser les progrès les plus importants dans l'aviation, il a enfin permis le vol du « *plus lourd que l'air* ».

Nous avons souvent entendu dire que, désormais, la recherche du moteur toujours plus léger pour une même puissance et l'étude des conditions favorables à la plus grande puissance massique ne s'imposaient plus pour l'amélioration de la voiture automobile, qu'elles n'étaient que d'un faible intérêt pour les dirigeables, qu'elles étaient même « nuisibles » pour la navigation automobile !

Le moteur très léger semblerait donc, d'après cette opinion, devoir être étudié seulement pour les aéroplanes.

Nous croyons que, pour le plus grand bien des outils chargés d'utiliser la puissance des moteurs, soit sur route, soit dans l'air, soit sur l'eau, tout gain dans le poids de ces moteurs sera un progrès.

Mais, dira-t-on, il faudra augmenter la vitesse angulaire des moteurs pour atteindre ce but, et l'on accroîtra ainsi les difficultés du graissage ! On diminuera la durée de leur existence ! On compliquera le problème de l'alimentation, celui de l'allumage, celui du refroidissement !

(1) Voir Bulletin de juin 1908, page 917.

La vitesse angulaire est-elle donc le seul facteur de l'augmentation de la puissance massique ?

Nous nous proposons de démontrer que ce n'est pas là le seul facteur de cette augmentation, et que, si, pour certaines applications du moteur à mélange tonnant, il ne faut tendre vers l'augmentation de la vitesse angulaire qu'avec prudence, on peut cependant poursuivre la réalisation du moteur toujours plus léger par l'étude raisonnée de ses autres facteurs.

Les facteurs qui influent sur l'augmentation de la puissance massique sont nombreux.

Liés entre eux, ils sont très souvent opposés dans les solutions qu'ils entraînent. Nous nous proposons de passer ces divers facteurs en revue et, pour la plus grande facilité de leur étude, nous les rangerons en trois catégories :

1° Ceux qui participent de la construction du moteur ;

2° Ceux qui ont pour effet une augmentation du couple moteur ;

3° Ceux qui ont pour effet un accroissement de la vitesse angulaire.

Les premiers comprennent ceux qui, par un groupement logique des organes du moteur, contribuent à la diminution de son poids.

Le moteur Esnault-Pelterie est un exemple typique de ce facteur si important qu'est le groupement des organes. La solution élégante qu'il nous donne a été si parfaitement mise en valeur devant la Société qu'il est inutile d'en dire à nouveau les mérites. Une comparaison entre les dimensions des organes de ce moteur et ceux d'un moteur de voiture de mêmes caractéristiques de cylindrée nous était faite tout dernièrement par un de nos collègues, et il était intéressant de constater que les pièces en mouvement, les axes, les coussinets, étaient de dimensions comparables, et que rien, dans le moteur Esnault-Pelterie, n'avait été sacrifié, en vue de la diminution du poids, dans la résistance de ces organes.

Le mode de refroidissement par l'air est un facteur également important de la diminution du poids des moteurs. M. L. Périssé a fait une étude de cette question devant la Société.

La réduction du poids des organes en mouvement contribuant à la diminution des effets d'inertie, le choix des métaux entrant dans la construction des moteurs sont encore des facteurs extrêmement importants dont l'étude a conduit à des résultats très nets.

Parmi les conditions favorables à l'augmentation du couple moteur, il faut comprendre :

1° Toutes celles qui ont pour effet utile un remplissage plus parfait de la cylindrée ; les conditions de l'alimentation au point de vue de la vitesse de l'écoulement des gaz, tant dans le carburateur qu'à travers les tuyauteries et les soupapes d'admission, sont à étudier particulièrement. Toute perte de charge est un facteur de diminution du poids de mélange carburé introduit, et les gaz doivent posséder la vitesse la plus réduite compatible avec les meilleures conditions d'entraînement du combustible et de sa pulvérisation.

Cette condition nous conduit à choisir un carburateur assez volumineux, puisque les sections de passage des gaz doivent être de grande surface. Nous devons d'ailleurs remarquer qu'un carburateur volumineux n'est pas forcément lourd, observation qui nous conduit aussi à envisager la difficulté de l'automaticité dans un tel appareil, lequel doit surtout être étudié en vue d'une alimentation facile du moteur, pour un régime fixe de marche.

2° Il faut comprendre encore, dans cette catégorie, les conditions favorables de l'allumage, tant en ce qui concerne l'énergie mise en jeu dans cet allumage qu'en ce qui concerne le choix de l'endroit où il doit se produire.

3° L'influence du calage des soupapes est démontrée par des résultats comparés après adoption de calages différents. Il n'y a pas longtemps, encore, on s'efforçait d'assurer la fermeture de la soupape d'admission au point mort. On pensa qu'il y avait intérêt à fermer la soupape d'admission après le point mort, alors que le piston commence à revenir sur sa course.

A ce moment, la vitesse linéaire du piston est très faible ; la vitesse d'aspiration des gaz est, au contraire, élevée, et leur énergie cinétique est telle qu'ils ont tendance à venir se tasser contre le piston qui vient à leur rencontre.

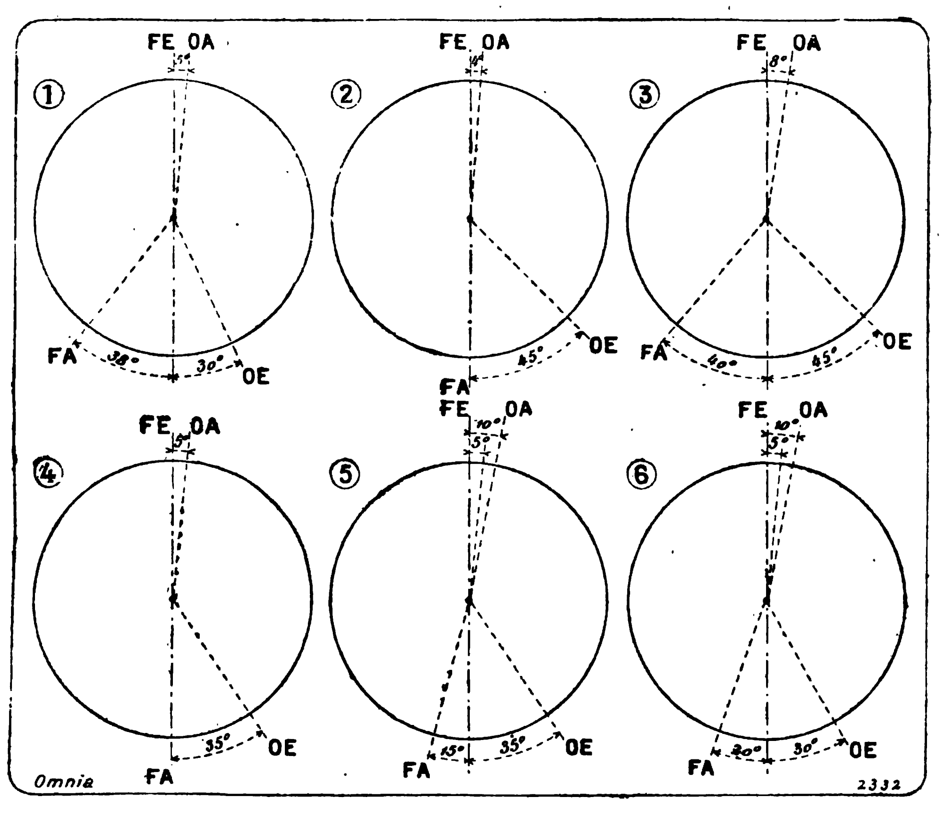
Il faut bien comprendre que le point de calage de fermeture de la soupape d'admission est lié à la vitesse d'écoulement des gaz, à la vitesse linéaire du piston, et par suite aux caractéristiques du moteur et aux sections, longueurs et formes des canalisations d'admission.

Les figures ci-contre reproduisent quelques-uns des calages employés dans les moteurs. Les lettres OA, FA indiquent les positions de calage d'ouverture et de fermeture de l'admission ;

les lettres OE, FE celles d'ouverture et de fermeture de l'échappement.

La figure 1 est le schéma de calage d'un moteur de 100 mm d'alésage qui, d'après la formule de la Commission technique, doit donner 33,88 chx, et qui donne en réalité 40,28 chx.

Les figures 2 et 3 sont les schémas de calage d'un même



DIVERS CALAGES EMPLOYÉS ACTUELLEMENT DANS LES MOTEURS.

OA, FA, position de calage d'ouverture et de fermeture de l'admission.
OF, FE, position de calage d'ouverture et de fermeture de l'échappement.

moteur; au premier réglage, ce moteur donnait 50 chx; au deuxième, il donnait 56,5 chx.

Les figures 4, 5 et 6 représentent les variations successives de réglage d'un moteur qui développe 28,2 chx avec le premier réglage et 33 avec le troisième.

4° L'augmentation de la compression volumique est un élément favorable à l'augmentation du couple moteur. Cet élément est

contesté par certains au point de vue de son effet utile sur l'augmentation de la puissance massique. On dit quelquefois qu'un moteur à compression élevée ne peut acquérir une grande vitesse angulaire.

Le calage du point d'ouverture de la soupape d'échappement joue, par rapport à l'augmentation de la compression, un rôle important en ce que ces deux éléments sont liés entre eux au point de vue de leur influence sur l'augmentation de la vitesse angulaire.

Si l'on augmente la compression dans la limite imposée par l'auto-allumage, bien entendu, il faut augmenter l'avance à l'échappement si l'on veut que la vitesse angulaire croisse ; on améliore une partie du cycle, mais on sacrifie l'autre partie.

On étudie, en ce moment, la possibilité de l'emploi de pistons en aluminium, dans l'espoir de réaliser une économie dans le poids des pièces en mouvement et, par suite, une diminution des effets d'inertie. Il nous semble qu'au point de vue compression, un piston en aluminium aurait aussi un effet intéressant.

L'aluminium est très bon conducteur de la chaleur, il évacue facilement les calories qui lui sont transmises.

Lorsque l'on construit un moteur, on prévoit une compression volumique telle que la compression en marche ait une valeur n'entraînant pas l'auto-allumage. Or, plus le moteur a une vitesse angulaire élevée, plus l'auto-allumage est à redouter.

Ce phénomène provient, en partie, de ce fait que le piston, se trouvant soumis à une plus grande fréquence d'explosions, acquiert une température telle que l'auto-allumage se manifeste. Et cependant, aux vitesses angulaires élevées, le remplissage de la cylindrée est moins parfait. Si donc nous pouvons refroidir le piston, nous pourrons, d'une part, augmenter la compression volumique, ce qui améliorera le rendement thermodynamique du moteur à toutes les allures ; et nous pourrons, de plus, par une étude mieux comprise des tuyauteries, par exemple, assurer aux grandes vitesses linéaires du piston un remplissage plus parfait de la cylindrée.

Il nous a été donné de voir récemment un piston en aluminium muni d'ailettes intérieures destinées à faciliter son refroidissement ;

5° Dans l'énumération des conditions favorables à l'augmentation du couple moteur, il faut indiquer aussi que la nature du

combustible intervient. Quelques combustibles liquides sont, en effet, susceptibles, en se combinant à l'oxygène de l'air, de dégager plus ou moins de chaleur pour un même poids ; d'autres comme l'alcool, tout en possédant un pouvoir calorifique moindre, ont cependant des propriétés spéciales qui leur permettent de suppléer à l'insuffisance des calories dégagées par l'augmentation du rendement thermodynamique. Enfin, certains explosifs, qui permettent dans leur combinaison avec l'oxygène une élévation très brusque de pression, possèdent ce que l'on nomme une explosion brutale.

Quel effet peut produire l'incorporation de cet explosif ?

Si son pouvoir calorifique est supérieur à celui de l'essence, il en résulte que nous avons à notre disposition, de par l'explosion, une plus grande quantité de calories ; là pourrait se borner le bénéfice, et ce serait peut-être le payer bien cher. L'élévation brusque de pression ne peut être, en effet, acceptée sans réflexion pour n'importe quel moteur. Le rapport de la longueur de la bielle à la longueur du rayon de la manivelle intervient et si, par exemple, la bielle est trop longue par rapport au rayon de la manivelle, il est certain que ce dispositif, diminuant l'influence des réactions latérales, a pour effet l'accroissement du rendement mécanique du moteur, mais qu'aussi, l'élévation brusque de pression se manifestant au moment où la bielle est dans le prolongement de la manivelle, des réactions violentes se manifestent et sont susceptibles de briser le moteur.

Un explosif ne semble intervenir qu'à l'instar de la capsule de fulminate qui provoque l'inflammation de la poudre. Il semble suppléer à l'insuffisance de l'allumage, et c'est ainsi, à notre avis, que dans certains cas on a pu constater une amélioration résultant de son utilisation.

6° Enfin, dernièrement, on a recherché l'augmentation du couple moteur par l'introduction d'oxygène, en substituant ce comburant à une partie seulement de l'air atmosphérique. C'est là un procédé un peu violent qui nécessite l'emploi d'un deuxième carburateur approprié à l'utilisation de cet excès de comburant.

En effet, l'oxygène n'aura une action réelle, au point de vue de l'augmentation du couple moteur, qu'autant que le carburateur sera susceptible de fournir une proportion d'essence plus élevée que lorsque le moteur fonctionne par l'air atmosphérique. De cette façon le poids de mélange carburé ainsi formé est plus

élevé du fait de l'augmentation du poids des deux éléments, comburant et combustible.

Les expériences faites avec l'oxygène ne sont pas actuellement très probantes ; ce n'est pas en vain qu'on provoque une élévation de température considérable dans les culasses des moteurs, du moins tels qu'ils existent. Les parties non directement refroidies, et en particulier les soupapes, sont rapidement détériorées ; pour l'emploi de l'oxygène comme unique comburant, il faudrait faire une étude spéciale des conditions nouvelles de refroidissement. C'est alors seulement qu'au point de vue du poids on pourrait connaître le bénéfice réalisé.

L'utilisation de l'oxygène est cependant intéressante dans le cas d'un coup de collier à donner.

Encore, faut-il prévoir, comme nous l'indiquons plus haut, un deuxième carburateur réglé en vue d'un excès de combustible liquide.

Envisageons maintenant les facteurs susceptibles d'influer sur l'augmentation de la vitesse angulaire d'un moteur. Il est bien certain que la réduction des effets d'inertie, d'une part, le remplissage toujours plus parfait du cylindre, d'autre part, auront pour effet immédiat d'accroître cette vitesse angulaire. Des conditions spéciales de graissage sont particulièrement favorables à cet accroissement, car ces conditions sont limitatrices de la vitesse linéaire du piston.

Examinons en particulier le moteur Lion-Peugeot, qui gagna la Coupe des Voiturettes à Turin. Ses caractéristiques étaient : alésage; 100 mm., course, 150 mm. Il est facile de calculer que, de bout en bout de l'épreuve, le moteur tourna à la vitesse angulaire moyenne de 2 100 tours par minute, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 10,50 m. Par instants le moteur tourna à 2 500 tours, vitesse angulaire à laquelle correspondait une vitesse linéaire de 12,50 m par seconde ! Nous avons appris que, dans ces conditions, le graissage de la paroi du cylindre n'est pas aussi difficile à réaliser que celui de la tête de bielle, par exemple, et que la vitesse linéaire de 15 m serait facilement atteinte si certaines précautions de graissage étaient prises pour cette tête de bielle.

Enfin, l'évacuation facile des gaz brûlés est l'un des plus importants facteurs de l'accroissement de la vitesse angulaire. Nous rappelons, à ce propos, les conclusions d'expériences faites au

Laboratoire de l'Automobile-Club de France et parues dans le Bulletin de la Commission Technique, conclusions qui sont les suivantes :

Les gaz, du fait de l'échappement à la sortie du moteur (échappement libre), éprouvent, de la part de l'air, une contre-pression qui se traduit par une diminution de la puissance du moteur.

En vue de l'augmentation de la puissance, on a intérêt à provoquer une condensation des gaz de l'échappement par un rapide refroidissement de ces gaz, immédiatement à la sortie du moteur.

On ne doit pas, dans le refroidissement des gaz, dépasser une limite telle que les procédés employés pour réaliser ce refroidissement viennent, par une diminution de la puissance de leur fait, contre-balancer l'augmentation obtenue par le refroidissement. L'augmentation de la vitesse angulaire conduit également à une étude plus serrée du problème du refroidissement de la paroi : les conditions favorables à la diminution de la surface des parois pour un même volume de cylindre démontrées par M. A. Witz contribueront donc non seulement à l'accroissement du rendement thermodynamique, mais aussi à la possibilité de l'augmentation de la vitesse linéaire du piston.

Pour terminer cet exposé des conditions favorables à l'accroissement de la puissance massique, nous donnons quelques chiffres qui montrent quels résultats sont obtenus avec les moteurs de voitures automobiles et aussi comment varie la puissance massique pour des moteurs de puissance décroissante. La Commission Technique, en vue de la préparation du programme de concours de moteurs à grande puissance massique, a fait une enquête près des constructeurs de moteurs et de voitures automobiles.

Nous donnons dans un tableau les résultats de cette enquête.

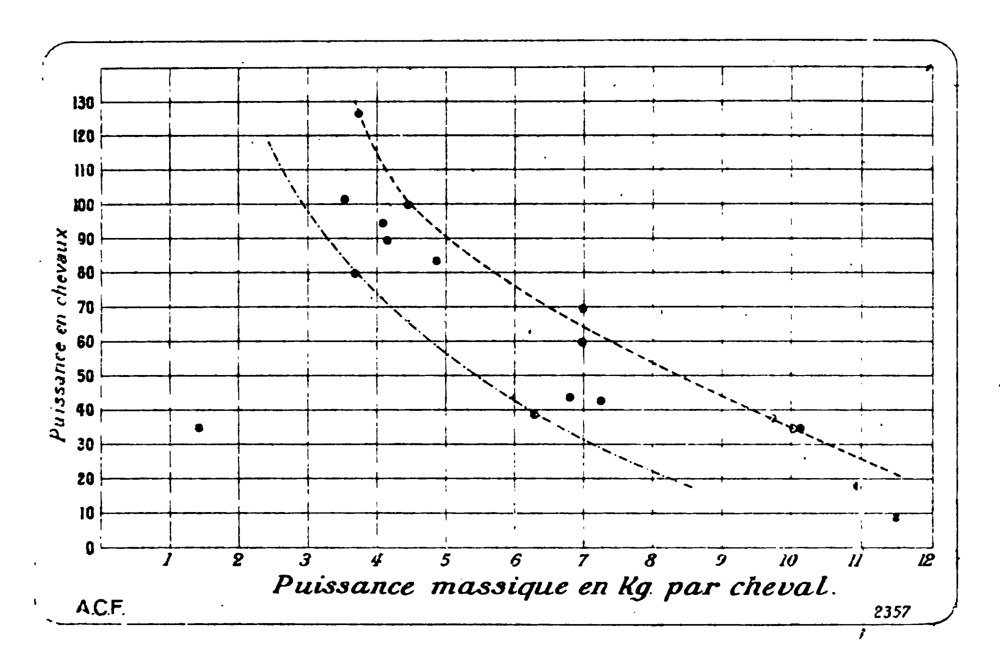
Les chiffres portés dans le tableau sont ceux indiqués par les constructeurs.

Le poids total du moteur est défini ainsi qu'il suit :

Poids du moteur avec son carburateur, son allumage complet en ordre de marche, sa tuyauterie de refroidissement, sa pompe, son radiateur, son réservoir d'eau, avec tous ses organes de graissage, sans la tuyauterie d'arrivée d'essence, sans silencieux, sans eau, huile, graisse, ni essence.

Un graphique représente les points caractéristiques de ces

ALÉSAGE EN MILLIMÈTRES	COURSE EN MILLIMÈTRES	VITESSE ANGULAIRE en tours par minute	NOMBRE DE CYLINDRES	PUISSANCE EN CHEVAUX	POIDS TOTAL EN KILOGRAMMES	POIDS DE L'EAU de REFROIDISSEMENT en kilogrammes	PUISSANCE MASSIQUE en kilogrammes par cheval
180	170	1 100	4 cylindres	127	480	63	3,78
170	150	1 300	4 cylindres	102	370	40	3,62
155	175	1 100	4 cylindres	100	450	40	4,5
160	98	2 300	4 cylindres	95	395	30	4,15
160	160	1 100	4 cylindres	90	380	30	4,22
145	160	1 360	4 cylindres	84	412	20	4,90
150	150	1 000	4 cylindres	80	300	25	3,75
150	138	1 200	4 cylindres	70	497	40	7,01
120	140	1 200	4 cylindres	60	420	30	7,00
120	140	1 200	4 cylindres	44	300	30	6,81
110	130	1 500	4 cylindres	43	311,400	30	7,24
112	130	1 200	4 cylindres	38	368	35	9,68
102	116	1 460	4 cylindres	37	233	20	6,29
110	130	1 300	4 cylindres	35	353	23	10,08
110	120	1 100	4 cylindres	35	350	32	10,00
85	95	1 500	7 cylindres	35	52	»	1,48
120	130	1 650	Monocylindre	18	196,100	14	10,89
110	110	1 450	Monocylindre	9	103	18	11,44



moteurs, définis par leur puissance, et leur puissance massique. Le point isolé en dehors des deux courbes limites caractérise le moteur Esnault-Pelterie.

Moteurs à mélange tonnant.

Résultats d'essais de consommation controlés par la Commission Technique de l'Automobile-Club de France.

Moteurs à alcool. — A l'occasion du Congrès des applications industrielles de l'alcool, la Commission exécutive de l'Exposition décennale de l'Automobile du Cycle et des Sports créa, dans l'enceinte de l'Exposition, une station d'essais de moteurs marchant à l'alcool dénaturé non carburé ou carburé à 50 0/0 au minimum.

La Commission Technique de l'A.C.F. assura le contrôle des essais de cette station.

Les exposants firent tout d'abord une mise au point de leurs appareils et les résultats furent ensuite contrôlés dans des essais officiels.

Ce sont ces résultats que nous avons réunis dans le tableau de la planche 169.

Les résultats obtenus furent ceux que les organisateurs espéraient et si, pour quelques moteurs, le chiffre de consommation spécifique fut parfois assez élevé, les constructeurs purent se rendre compte des modifications qu'ils devaient apporter à leurs carburateurs pour une utilisation meilleure de l'alcool.

D'ailleurs, au cours même des essais qu'ils purent effectuer à la station, certaines améliorations très sensibles furent apportées par eux dans le fonctionnement du carburateur et les progrès réalisés leur montrèrent la direction qu'ils devaient donner à leurs persévérants efforts. Tous les Ingénieurs, tous les mécaniciens qui, avec nous, firent des expériences, n'hésitèrent pas d'ailleurs à déclarer qu'aucun problème insoluble n'était soulevé à l'occasion de l'emploi économique de l'alcool; ils reconnurent les conditions de parfaite régularité de fonctionnement des moteurs avec ce combustible et s'empressèrent d'indiquer que jamais, au cours des essais qui durèrent quinze jours, ils n'avaient constaté ni gommage, ni attaque des soupapes et autres organes de moteurs.

De l'avis unanime, toute la question de la parfaite utilisation de l'alcool carburé dans les moteurs, tels qu'ils sont établis actuellement, de l'alcool dénaturé non carburé dans les moteurs à haute compression, réside dans les conditions d'établissement du carburateur, tant au point de sa masse plus considérable, de la surface plus grande des parois internes, qu'au point de vue de son réchauffage. Les Ingénieurs ont emporté de cette étude en commun la conviction qu'en s'inspirant des remarquables règles données par le regretté chimiste Sorel, ils sont certains d'atteindre le but qu'ils poursuivent.

Moteurs à gaz pauvre. — Dans la section des moteurs à l'Exposition décennale de l'Automobile du Cycle et des Sports figuraient des moteurs à gaz pauvre, et un concours fut organisé entre ceux des exposants qui consentirent à y participer.

Rapport du Jury.

A l'occasion de l'Exposition décennale, la Commission exécutive, que préside M. Rives, a ouvert, à l'Esplanade des Invalides, un Concours de groupes électrogènes à moteurs à gaz pauvre.

Le règlement général établi par la Commission exécutive en indique le but et les conditions. (Nous en donnons les articles importants.)

Un jury fut constitué; il était composé de : MM. A. Loreau, président; Carpentier, vice-président; Arnoux, Bourdil, Brocq, Chaix, Compère, Leroux, G. Longuemare, L. Périssé, F.-M. Richard, membres; G. Lumet, ingénieur délégué; Bernaville, Raymond Périssé et Ch. Séré de Rivières, commissaires.

Le rapport, dont nous donnons des extraits, fut présenté par notre collègue M. Brocq.

Extraits du Règlement général.

Art. 2. — Participeront à ce concours les exposants seuls du groupement complet gazogène-moteur-dynamo.

Art. 3. — Un jury nommé par la Commission exécutive aura à juger, en se basant sur la dépense en combustible évaluée en grammes par kilowatt-heure.

Art. 5. — Le combustible employé par les concurrents sera le même pour tous : grain d'anthracite anglais 15/25.

Il sera délivré par les soins de la Commission exécutive.

Art. 6. — Les groupes électrogènes seront rangés dans trois catégories qui auront chacune un classement spécial.

1re catégorie. — Groupes d'une puissance électrique maxima de 15 kw aux bornes de la dynamo;

2e catégorie. — Groupes d'une puissance électrique comprise entre 13 et 50 kw aux bornes de la dynamo;

3e catégorie. — Groupes d'une puissance électrique supérieure à 50 kw aux bornes de la dynamo.

Art. 7. — Les essais de consommation seront effectués pendant une durée de dix jours. Ils commenceront le lundi 18 novembre au matin et finiront le mercredi 27 novembre au soir.

Les moteurs devront marcher, chaque jour, pendant six heures,

dont trois heures à demi-charge et trois heures à pleine charge, l'essai à demi-charge étant effectué à la vitesse angulaire de la pleine charge.

Art. 9. — Le combustible sera délivré en une seule fois, le matin de chaque jour, par l'Ingénieur délégué aux essais.

Aussitôt après le remplissage, la trémie de chargement sera plombée.

La quantité de combustible sera notée et les concurrents devront signer un reçu de cette quantité. Les concurrents pourront, chaque jour, remettre dans le gazogène le combustible non brûlé la veille, trié par leurs soins en présence d'un délégué qui assistera aux opérations de déplombage de la trémie et du nettoyage du gazogène. Par exception, le premier jour, le gazogène devra être vidé entièrement et rempli avec le seul combustible délivré par la Commission.

Le dernier jour des essais, il ne sera pas tenu compte du combustible non brûlé restant dans le gazogène.

Art. 10. — Chaque groupe sera muni, par les soins de la Commission exécutive, d'un compteur totalisateur de kilowatts-heure et d'un wattmètre enregistreur.

Ces appareils seront plombés en présence des concurrents.

La lecture du règlement montre que la seule base de classement est la dépense de combustible au kilowatt-heure, à l'exclusion de tous autres éléments d'appréciation. Le même combustible fut fourni aux concurrents par les soins du jury et chaque groupe fut muni d'un tableau uniforme de contrôle de la production d'énergie électrique.

Chaque tableau se composait d'un watt-heure-mètre compteur, d'un voltmètre et d'un ampèremètre, destinés à contrôler à tout moment les indications du wattmètre, et d'un ampèremètre enregistreur servant à fixer les heures des incidents ou modifications du régime de marche.

Les fiches de contrôle et les courbes enregistrées étaient jointes aux procès-verbaux, ainsi que les prises en charge de combustible reconnues par les intéressés.

Toutes les données recueillies avant et pendant le concours furent réunies en deux tableaux joints au présent rapport.

Enfin, l'inspection des courbes permettait de constater que les conditions du règlement, en ce qui concerne la durée de marche à demi-charge et celle à pleine charge, étaient respectées.

Les concurrents s'étaient inscrits au nombre de cinq, avec six groupes électrogènes.

1re catégorie. — Maison Z. Labbé fils, groupe de 5 kw.

2e catégorie. — Maison Z. Labbé fils, groupe de 50 kw.

— — V. Cazes et Cie, groupe de 50 kw.

— — Inschauspé, groupe de 20 kw.

— — Les Fils de A. Piat et Cie, groupe de 40 kw.

— — Compagnie des Moteurs Taylor, groupe de 25 kw.

La maison Inschauspé, dès le premier jour, se retire du concours, indiquant qu'elle n'avait pu trouver une dynamo capable d'absorber la puissance de son moteur.

La maison Piat se retire du concours le deuxième jour, l'échauffement de la tête de bielle du moteur ne lui ayant pas permis d'effectuer le nombre d'heures prévu au règlement dans la journée de cet incident.

Un incident analogue amena le retrait du groupe Labbé de 30 kilowatts.

Dans la première catégorie, le groupe Labbé de 5 kw consomme 1 460 g de charbon par kilowatt-heure.

Dans la deuxième catégorie, le groupe Cazes de 50 kw consomme 877 g et le groupe Taylor de 25 kw, 1 208 g de charbon par kilowatt-heure.

A titre de renseignement, on peut noter que le groupe Labbé de 40 kw, qui continua officieusement les essais du concours, consomme 1 614 kg de combustible pour 1 618 kilowtats-heure, soit 999 g par kilowatt-heure; le gazogène était le même que celui du groupe Cazes; la différence de 11 0/0 peut être considérée comme représentant à peu près la perte ordinairement attribuée à une courroie.

En résumé, le concours, malgré les incidents survenus aux moteurs de deux concurrents, a donné des résultats des plus intéressants. Il amène à constater, à charge variable et dans des conditions absolument industrielles, une consommation allant de 877 g à 1 208 g de charbon par kilowatt-heure et marque évidemment un progrès important. Les résultats sont d'autant plus intéressants que, dans la deuxième catégorie, se sont trouvés en présence deux groupes très différents comme type de construction : le premier avec un moteur à grande vitesse angu-

laire, à quatre cylindres verticaux et à couplage direct de la dynamo; le second avec un moteur à vitesse réduite à cylindre unique horizontal et à transmission par courroie.

Moteurs a deux temps pour voitures automobiles.

Un concours fut organisé au laboratoire de la Commission Technique de l'A. C. F. à la fin de l'année dernière.

Sept moteurs étaient inscrits :

N° 1 Moteur Tony Huber-Peugeot, 56, rue du Vieux-Pont-de Sèvres, à Billancourt (Seine).

N° 2 Moteur Tony Huber-Peugot.

N° 3 Moteur Billard, à Gaillon (Eure).

N° 4 Moteur Chastannet, 16, rue Lafontaine, Paris.

N° 5 Moteur S. V. U.-M. Colmant, 10, rue Rosa-Bonheur, Paris.

N° 6 Moteur Legros, à Fécamp (Seine-Inférieure).

N° 7 Moteur Ch. Picot, 49, boulevard Lascrosses, Toulouse (Haute-Garonne).

Le moteur n° 1 subit, en temps voulu, tous les essais.

Le moteur n° 2 dut interrompre les essais à demi-charge par suite d'une détérioration du piston.

Le moteur n° 3 ne put être prêt à la date indiquée pour les essais définitifs à cause d'un accident survenu au moteur, à la suite d'un accouplement défectueux avec le frein.

Le moteur n° 4 ne fut pas prêt en temps utile.

Le moteur n° 5 fut retiré du concours après les essais préliminaires, le concurrent ayant estimé son réglage imparfait.

Le moteur n° 6 subit en temps voulu tous les essais.

Le moteur n° 7 ne fut pas prêt en temps utile.

Les essais furent effectués à l'aide du moulinet dynamométrique du colonel Renard.

Ils comportaient un essai de six heures à pleine charge, un essai de trois heures à demi-charge, un essai de trois heures à vide, ces deux essais à la vitesse angulaire réalisée à la pleine charge.

La consommation en combustible était relevée pendant les trois essais, le combustible était délivré dans un réservoir placé sur une bascule et la consommation était mesurée par pesées effectuées toutes les heures.

Les moteurs devaient avoir une puissance minimum de 8 chx et maximum de 24.

La vitesse angulaire du moteur pour sa puissance maxima ne devait pas être inférieure à 800 tours ni dépasser 1 500 tours par minute.

Tous les combustibles étaient autorisés; l'essence seule fut employée par les concurrents.

Cette essence était la Motoline Leprêtre de densité 0,710 à 15 degrés centigrades.

La dépense en combustible devait être évaluée en francs, mais, en raison du fait indiqué plus haut, elle fut évaluée en kilogrammes.

Nous donnons les articles du règlement déterminant les bases du classement.

Art. 7. — Les bases d'appréciation de la Commission seront :

1° La puissance massique du moteur (en cheval par kilogramme) dans les meilleures conditions de fonctionnement;

2° La consommation spécifique (en francs par cheval-heure) correspondant au maximum de puissance.

Ces deux bases d'appréciation entreront dans le classement avec des coefficients égaux. Le moteur qui aura eu la moindre consommation spécifique recueillera, de ce fait, le maximum de points (100); les autres recevront un nombre de points proportionnellement dégressif (la consommation spécifique minimum étant prise pour unité). La consommation minimum atteinte étant supposée, par exemple, de 0,400 l, il sera attribué à cette consommation 100 points et à une consommation de 0,500 l.

$$\frac{0{,}400 \times 100}{0{,}500} = 80 \text{ points.}$$

Il en sera de même pour le moteur ayant obtenu le chiffre maximum de puissance massique : ce moteur obtiendra le maximum de points (100), les autres recevront un nombre de points proportionnellement dégressif (la puissance massique maximum étant prise pour unité). Le moteur le plus léger étant supposé, par exemple, peser 10 kg par cheval, recevra 100 points; un autre moteur pesant 15 kg par cheval recevra :

$$\frac{10 \times 100}{15} = 66{,}66 \text{ points.}$$

Art. 8. — Les moteurs seront pesés avec leur carburateur ou

gazogène, avec tous leurs organes d'allumage, sans silencieux, sans combustibles, sans eau de refroidissement, sans huile ou graisse.

Art. 9. — Le moteur ayant obtenu le maximum de points totalisés sera classé premier; les autres suivront dans l'ordre de points obtenus.

Art. 10. — Tout moteur n'ayant pas effectué, dans les conditions prévues, les trois essais, ne sera pas classé. Les essais de consommation à demi-charge et à vide ne serviront pas de base pour le classement, si ce n'est dans le cas d'égalité de points obtenus par plusieurs concurrents. Les essais ne pourront être recommencés ni ajournés.

Les résultats résumés de ces essais sont inscrits dans les tableaux de la planche 169.

L'EMPLOI DU BÉTON ARMÉ DANS LES TRAVAUX PUBLICS (1)

PAR

M. G. ESPITALLIER

---

§ 1. — Considérations générales.

Comme il arrive chaque fois qu'une nouvelle méthode ou de nouveaux procédés s'introduisent dans notre pratique journalière, le béton armé n'avait pas plutôt fait son apparition qu'on voulut l'appliquer à tout, avant même qu'on en connût exactement les propriétés essentielles, et, comme toujours, des accidents retentissants ont provoqué une réaction aussi injustifiée que la faveur prématurée du début.

Pendant longtemps, les Ingénieurs n'ont plus envisagé qu'avec une sorte d'instinctive appréhension cette matière jusqu'alors inusitée, qui semblait d'humeur si capricieuse. On conçoit d'ailleurs qu'une pareille défiance est jusqu'à un certain point justifiée envers des modes de construction qui ne relèvent que de règles empiriques, — chaque constructeur ayant les siennes, — et pendant longtemps, c'était bien le cas du béton armé.

Peut-on même affirmer que cette période empirique est, pour lui, absolument close ?

Certes, les instructions contenues dans la circulaire ministérielle du 20 octobre 1906, en France, s'efforcent, comme s'exprime leur savant rédacteur, de « substituer aux méthodes empiriques des méthodes plus sûres tirées de la résistance des matériaux ou de la théorie de l'élasticité ». Ces instructions, toutefois, n'échappent pas à la nécessité d'étayer les formes rationnelles de leurs calculs sur des hypothèses dont la vraisemblance est souvent problématique et dont le mieux qu'on puisse dire est qu'elles tiennent suffisamment compte des faits d'expérience de plus en plus nombreux.

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 559.

D'ailleurs, ce défaut des théories où l'on s'efforce d'enfermer des phénomènes trop complexes pour s'y adapter complètement, n'est pas particulier au béton armé ; nous le retrouvons, hélas ! à la base de toute la résistance des matériaux, parce que les corps naturels auxquels elle s'applique, sont très loin de ressembler aux systèmes matériels idéaux qu'envisagent la mécanique rationnelle et la théorie de l'élasticité.

Il faut se résigner à cette tare originelle, dont l'importance diminue d'ailleurs à mesure que les travaux se multiplient, venant ainsi nous rassurer sur la bonne entente des faits et de la théorie qui cherche à en rendre compte. Or, pour le béton armé, les applications sont devenues si nombreuses que, malgré le peu d'années qui nous séparent des débuts, les méthodes aujourd'hui acquises offrent dès à présent une sécurité comparable à celle des autres procédés de construction.

On a dit souvent que la maçonnerie armée a existé de tout temps, puisque, de tout temps, on a enfermé dans la maçonnerie des liens et des ancrages métalliques ; mais les caractères essentiels du béton armé, tel que nous le concevons aujourd'hui, y manquent, c'est-à-dire cet exact rangement des deux éléments à la place que leur assignent leurs propriétés particulières, pour qu'ils exercent précisément le mode d'action qui leur est propre et auquel ils sont le mieux adaptés.

Le béton armé, — ou la maçonnerie armée, — a-t-on pu dire — c'est le résultat d'un mariage où les deux conjoints se répartissent les charges de la communauté, suivant leurs forces et leurs aptitudes spéciales.

Si l'un d'eux s'y dérobe et n'apporte point sa part dans l'effort commun, il n'y a pas de maçonnerie armée ; ce n'est plus que l'assemblage hybride d'éléments disparates.

Les Américains ne font pas du ciment armé lorsque, ayant élevé la charpente métallique d'une construction géante, ils l'enferment dans une gaîne de béton, parce que ce béton n'est compté pour rien dans la résistance, n'étant placé là que pour soustraire le métal à l'action du feu.

De même, un caisson en tôle uniquement destiné à servir de moule étanche dans lequel on va confectionner un massif maçonné, ne saurait être considéré comme de la maçonnerie armée, parce que le métal n'a aucun rôle dans l'ouvrage terminé.

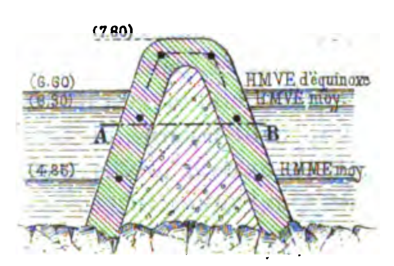
Maçonnerie armée.

On n'a pas attendu, toutefois, l'invention du béton armé, ou, d'une manière plus générale, de la maçonnerie armée, pour en faire. C'est le cas de l'énorme caisson des formes de radoub de *Missiessy*, à Toulon, où la charpente métallique sert à solidariser tout l'ensemble et à lui donner une élasticité nécessaire, pour résister sans ruptures aux efforts complexes qui le sollicitent.

Il n'est donc pas téméraire d'avancer que nos grands entrepreneurs de travaux publics sont les véritables initiateurs des méthodes modernes, dont le béton armé est la dernière forme.

Les massifs armés, ainsi conçus, peuvent, du reste, rendre encore de grands services, par l'économie que procure la maçonnerie de moellons, aussitôt qu'il s'agit de cubes considérables.

Les murs de quai de *Bahia-Blanca* (République Argentine) sont en maçonnerie armée. On pourrait citer d'autres exemples d'applications du même genre, notamment la digue armée de vieux rails, construite pour le port de *Boulogne-sur-Mer*, ou le brise-lames de *Trévignon*, près de Concarneau (1903) *(fig. 1)*, qui comprend un noyau en pierres sèches, revêtu d'une enveloppe en maçonnerie de moellons, hourdée au mortier de ciment et armée. Cette enveloppe mesure 0,75 m d'épaisseur du côté du large, 0,60 m vers le port, 0,50 m à la partie supérieure qui est arasée à 1 m au-dessus des plus hautes mers. Les parois sont réunies par des refends de même nature, de 0,60 m d'épaisseur, espacés de 10 m et raccordés aux parois par des pans coupés.



Plan-Coupe suivt AB

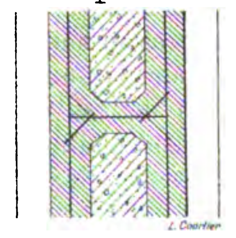


Fig. 1
Brise-lames en maçonnerie armée à Trévignon

L'armature se compose de 3 rangées de barres horizontales, aussi bien dans l'enveloppe que dans les refends, avec des barres

obliques dans les pans coupés. Le pourcentage, le noyau en pierres sèches non compris, est de 0,1 0/0.

Pour une hauteur moyenne de 1,80 m (la hauteur maximum étant de 4 m), le prix ressort à 174 fr. le mètre courant.

Le Béton armé.

La substitution du béton à la maçonnerie présente néanmoins des avantages qui doivent faire considérer cette substitution comme désirable dans la plupart des cas.

Pour tirer tout le parti souhaitable des deux éléments en présence, en effet, et pour qu'on puisse appliquer, dans une certaine mesure, les lois de l'élasticité au corps nouveau qui résulte de leur union, il importe que cette union soit aussi intime, et le massif aussi homogène que possible. Le béton, dans son particulier, répond à cette qualité mieux que la maçonnerie proprement dite; mais il faut en outre que le métal y soit réparti et solidarisé avec sa gangue.

On conçoit donc immédiatement qu'il est préférable d'avoir un grand nombre de barres petites et assez rapprochées, plutôt qu'un petit nombre de barres volumineuses.

Cette extrême division répond, du reste, à une autre exigence : c'est que l'adhérence empêche tout glissement des deux éléments l'un sur l'autre.

On s'est donné beaucoup de mal pour augmenter l'adhérence par toutes sortes d'artifices de fabrication, — en tordant des tiges carrées en hélice, en rivant des bouts de cornières sur des barres plates, ou en y estampant des ampoules, etc. — Le premier tort de ces artifices est d'ajouter à la dépense; mais, quel que soit d'ailleurs le mérite de ces dispositions, il semble bien que, dans la plupart des cas, elles sont superflues, car l'adhérence étant proportionnelle à la surface périphérique, il suffit de prendre des barres de faible diamètre, où cette surface périphérique est relativement grande

Sous le bénéfice de ces observations, passons en revue les principales applications du béton armé aux travaux publics.

§ 2. — Ponts en béton armé.

Après que le béton armé se fut fait connaître dans les travaux du bâtiment, sous la forme de planchers et de supports verticaux, c'est par les ponts qu'il s'est introduit sur le domaine des travaux publics; et, tout d'abord, on a commencé par l'établissement de tabliers sur poutres droites, supportées elles-mêmes par des palées de montants verticaux; ces ouvrages réunissaient ainsi les seuls éléments qu'on avait accoutumé de manier.

Ces ponts à poutres droites constituent encore des solutions très économiques, ce qui les rend précieux dans bien des cas, sur les chemins vicinaux, par exemple, où les exigences du roulage ne sont pas considérables, mais où les ressources financières sont du même ordre.

On a abordé ensuite les ponts en arc, et l'on s'est aperçu immédiatement que, grâce à ses propriétés élastiques, le béton armé permet de franchir de grandes portées, avec des surbaissements atteignant communément 1/10 à 1/15. Pour de pareils surbaissements, les tympans ont peu d'importance et peuvent être pleins, sans augmenter par trop les surcharges et sans alourdir l'aspect *(fig. 1, Pl. 170)*. Mais aussitôt qu'il s'agit de grandes portées, on est conduit à adopter des arcs moins surbaissés, avec des dispositifs analogues à ceux de la construction métallique.

En particulier, on a inauguré, avec le pont de Châtellerault, le système où la charge du tablier est transmise à l'arc par de simples colonnettes verticales, type aujourd'hui très répandu, et dont l'une des applications les plus récentes a donné, au pont de Pyrimont, des résultats fort économiqnes *(fig. 2, Pl. 170)*.

Il est bien certain, en outre, que, si l'on tend de plus en plus à appliquer aux arcs en maçonnerie les théories de l'élasticité, ces théories s'adaptent mieux encore au béton armé, la présence de l'armature, lorsque sa répartition est judicieusement ordonnée, ayant pour effet, précisément, de rendre tout l'ensemble apte à résister aux efforts de flexion et aux tractions qui en résultent, tandis qu'on est forcé, dans les arcs en maçonnerie ou en béton non armé, de limiter la position de la courbe des pressions au noyau central; cette dernière exigence conduit souvent, pour plus de sécurité, à organiser, au moyen de rotules, des points



obligés de passage de la courbe, malgré les inconvénients pratiques que cet artifice présente, par suite de la difficulté d'établir une liaison assurée entre deux éléments aussi disparates que la rotule en métal, d'un côté, et les parties avoisinantes en maçonnerie, de l'autre.

Par analogie, quelquefois, on a établi des rotules dans les arcs en béton armé. Cette introduction, il est bon de le noter, n'a pas été sans soulever, de la part de certains spécialistes du béton armé, une opposition formelle. Au lieu d'y trouver une amélioration, ils n'y voient qu'une anomalie, en contradiction avec le principe même de ce mode de construction, où l'on doit chercher avant tout à constituer un monolithe, en faisant état des propriétés élastiques de la matière employée.

La courbe des pressions se trouve où elle peut, qu'importe ? S'en préoccupe-t-on lorsqu'il s'agit d'une poutre droite ? Non, parce qu'on compte précisément sur ces propriétés élastiques pour équilibrer les couples de flexion, s'il est nécessaire.

Toutefois, il n'est point de domaine où l'intransigeance soit moins de mise que celui de la construction ; les principes ne valent que par la manière dont ils sont appliqués, et, à cet égard, nous signalerons une solution mixte, adoptée pour les vastes voûtes qui s'achèvent, en ce moment même, au-dessus du canal Saint-Martin, à Paris ; ces voûtes sont pourvues de pseudo-rotules — que l'éminent Ingénieur de cet ouvrage excuse ce terme évidemment impropre — qui ne sont pas des organes spéciaux, indépendants, mal soudés ou mal assortis au reste de la construction, mais qui résultent plutôt d'une disposition particulière de l'armature noyée dans la masse.

Ce sont encore là des ressources nouvelles mises à la disposition de l'Ingénieur pour reculer les limites de sa puissance en toute sécurité.

§ 3. — **Piles et fondations.**

Il semble que la construction des ponts en béton armé appelle une autre observation d'ordre général.

Très souvent, on limite aux arcs et au tablier l'emploi du béton armé. Les supports sont établis en maçonnerie ordinaire et les fondations sont faites par les méthodes anciennes.

Sans doute, cette pratique se justifie par une raison d'éco-

nomie pour les parties hors de l'eau (1) ; mais il n'est pas certain que ces raisons subsistent en ce qui concerne la partie immergée des piles et pour les fondations. On continue pourtant à y appliquer les vieux procédes, en construisant à grands frais de vastes caissons ou des enceintes en bois, qui ne sont en quelque sorte que des travaux préparatoires permettant de draguer et d'épuiser à l'aise. Le coffrage n'est ainsi qu'un auxiliaire dispendieux, qui devient inutile dès qu'il a joué son rôle protecteur et qui n'intervient pas — ou guère — dans la stabilité définitive de l'ouvrage.

Or, le béton armé se prête tout aussi bien à la constitution de cette œuvre basse qu'à celle du pont proprement dit, — témoin la construction des piles du pont de Châtellerault. On peut même estimer qu'il y a tout intérêt à solidariser tout l'ensemble, en prolongeant les arcs par des supports de même nature, et ceux-ci par le système de fondation lui-même.

Il ne s'agit plus d'une simple enceinte réduite au rôle provisoire et ingrat de bâtardeau, mais d'un élément servant directement de support.

Ce seront des pieux et palplanches ou des caissons en béton armé *(fig. 3, Pl. 170)*, aussi commodes que des caissons en métal, avec cet avantage que l'armature coopère à la résistance ultérieure et se trouve protégée de la destruction par son enveloppe de béton, tandis que la chemise extérieure en tôle des caissons habituels est condamnée d'avance à une corrosion rapide.

Comme exemple d'un caisson en béton armé servant aux fondations d'ouvrages, nous citerons celui de 5 000 t, qui a été mis à la mer le 24 août 1908, à Toulon, et amené par flottage sur son emplacement définitif, pour constituer, une fois coulé et rempli de béton ordinaire, l'îlot artificiel qui sert de plateforme et de fondation à une batterie basse pour le lancement des torpilles.

Dans le même ordre d'idées, il n'est point du tout démontré que, pour les fonçages analogues à ceux de la gare du Métropolitain, sur la place Saint-Michel, à Paris, par exemple, le béton armé n'aurait pas offert une solution autrement économique et élégante que les énormes caissons blindés qui y ont

(1) C'est la raison qu'invoque M. l'Ingénieur en chef Schœndœrfer, pour la construction en maçonnerie ordinaire des hautes piles du pont de Pyrimont (*Annales des Ponts et Chaussées...*)



été laborieusement édifiés. On sait que ces caissons sont inspirés du caisson déjà employé à Toulon, pour l'exécution de la galerie sous-marine, qui établit la communication entre les bassins de radoub n° 1 et n° 2 de Missiessy.

Pieux et palplanches.

C'est sous la forme de pieux et de palplanches que le béton armé est apparu tout d'abord comme une ressource des plus précieuses dans la constitution des fondations, c'est-à-dire dans la partie la plus délicate et la plus essentielle des ouvrages.

Les pieux et palplanches en béton armé ont d'ores et déjà droit de cité dans les travaux publics, non seulement en terre ferme ou en eau douce, mais en eau de mer, où ils se substituent avec tant d'avantages aux pieux en bois.

On leur doit, la plupart du temps, la solution économique de problèmes difficiles, et l'on s'en est beaucoup occupé au XIe congrès de la navigation, qui s'est réuni à Saint-Pétersbourg en 1908.

M. l'ingénieur en chef Voisin y signalait notamment leur emploi pour le remplacement des pieux en bois qui soutenaient les risbermes des murs de quai, dans le chenal du port des *Sables d'Olonne*. Pour remédier à la destruction rapide du bois, qui nécessitait le remplacement des pieux tous les dix ans, on avait songé d'abord à foncer, au moyen de l'air comprimé, des blocs en maçonnerie ; mais la dépense eût été considérable, et l'on se décida à battre une file de palplanches en béton armé de 5,80 m de longueur et 40 × 25 cm d'équarrissage, enfoncées dans l'argile compacte. La tête fut raccordée au pied du quai par une sorte de poutre en ciment armé formant une plate-forme de 1,20 m de largeur, maintenue par des ancrages. Dans ces conditions, l'économie ne fut pas inférieure à 250 f par mètre courant (1).

Dans les travaux neufs, l'usage des pieux et palplanches en béton armé se répand également de plus en plus. Nous nous contenterons de citer le fonçage, pour les fondations des murs de quai, à *Rosario*, de pieux de ce genre, entre les cotes — 9 et — 20, sur lesquels reposent les caissons qui, sans cet artifice, auraient dû descendre jusqu'au terrain solide, à la cote extrême — 20.

(1) Voisin. *XIe Congrès de la Navigation* (1908).

L'emploi des pieux et palplanches en béton armé soulève plusieurs questions intéressantes.

Tout d'abord, vaut-il mieux les mouler debout ou couchés? Dans cette dernière position, l'opération est sans doute plus facile et, si elle est bien conduite, le béton est bien homogène sur toute la longueur, tandis que, dans le moulage debout, le damage étant successif par couches superposées, dont le poids comprime les couches inférieures, le béton présente une densité croissante, en allant du sommet à la pointe.

D'après M. Mœller (1), Directeur des travaux maritimes à Wilhelmshaven, ce dernier mode de moulage assure une imperméabilité plus grande, tandis que, lorsqu'on a en vue la résistance au fonçage, les expériences effectuées au port de *Ruhrort* feraient accorder la préférence au moulage en position couchée.

Dans les travaux du même port, on avait admis que les pieux devaient avoir 10 jours d'*âge* avant d'être démoulés, 20 jours avant d'être déplacés horizontalement, et 30 jours avant d'être foncés.

Le dosage comportait : 1 de ciment pour 3 de gravier de l'Elbe contenant 1/10 de sable de dune fin et non salin (2). Il importe d'opérer sur un béton très plein, pour accroître l'imperméabilité, ce qui exige une assez forte proportion de sable.

On obtiendra un bon résultat avec le dosage suivant, souvent usité en France :

Ciment	450 kg.
Gravier	0,800 m³.
Sable	0,400 m³.

Toutefois, la teneur de 450 kg en ciment est un minimum, et M. l'Ingénieur en chef Voisin recommande de ne pas mettre moins de 500 kg par m³, afin d'éviter la pénétration de l'eau de mer, qui ne peut avoir qu'une action mauvaise sur le ciment et sur les armatures.

Le battage constitue à son tour, pour les pieux en béton armé, une épreuve délicate.

Il faut avoir soin qu'il ne s'exerce point directement sur la tête des tiges d'armature, et, dans ce but, le béton doit les recou-

(1) Mœller. *XIe Congrès de Navigation* (1908).
(2) Ce dosage en volume correspond à 450 kg de ciment par m³.

vrir sur une épaisseur convenable. On coiffe, en outre, la tête des pieux d'un casque renfermant une matière élastique, — bloc de bois ou sciure de bois, — et l'on interpose souvent un faux pieux en bois.

Malgré ces précautions, on n'évite pas toujours les fissures de la tête. A *Chantenay*, près de Nantes, en 1900, des pieux en béton à 400 kg de ciment, se sont fendillés au battage, sur des longueurs variant de 0,20 m à 0,80 m. On dut refaire de nouvelles têtes aux pieux non encore battus, avec un béton plus riche en ciment.

Au port de *Ruhrort*, sous le choc d'un mouton de 3 000 kg, tombant seulement d'une hauteur de 0,30 m à 0,40 m, on constata de fortes dégradations de la tête des pilots. L'un d'eux s'est écrasé sur une hauteur de 1 m. Cette dégradation ne fut constatée que lorsqu'un dragage ultérieur l'eut mise à jour. M. Mœller admet d'ailleurs que l'écrasement a été tout à fait progressif, car rien d'anormal n'avait été remarqué pendant le battage. Les armatures étaient coudées à angle droit.

En raison même du poids considérable des pieux en béton armé, il convient d'employer des moutons très lourds (2 000 kg et plutôt 3 000 kg) en réduisant au contraire la hauteur de chute, pour éviter les effets d'écrasement et de fendillement.

A côté, d'ailleurs, des quelques exemples que l'on peut citer, où se sont produites des détériorations, on doit constater que les applications des pieux en béton armé sont aujourd'hui très nombreuses et que, dans la plupart des cas, on a su éviter les fendillements avec quelques précautions. Il sera bon, notamment, de doubler les ligatures transversales sur 1 m environ, à partir de la tête. En outre, la masselotte de béton qui entoure l'extrémité des armatures est sacrifiée ; on l'enlève après battage, en laissant à nu les tiges qui sont ensuite noyées dans les poutres horizontales, destinées à servir de chapeau.

Pieux frettés.

La disposition de l'armature principale sous forme de frettage, en s'opposant efficacement à l'expansion transversale du béton, par où périssent généralement les pièces comprimées, est certainement favorable à la résistance, encore que ces pièces soient plus facilement sujettes au flambage.

Les détériorations qui sont alors à craindre pendant le battage,

se manifestent surtout par l'écaillage de la couche mince du béton servant d'enveloppe à l'armature ; celle-ci se trouve ainsi facilement mise à nu, lorsqu'on pousse les essais à la compression d'une pièce frettée.

Or il est certainement indispensable que les fers ne soient point exposés ainsi directement, soit à l'eau, soit même à l'air, mais surtout à l'eau salée. Les pieux frettés exigent donc, plus peut-être que les autres, de très grands soins dans leur préparation et dans le battage, aussi bien qu'une teneur en ciment élevée.

A Boulogne-sur-Mer (1), pour la réfection du quai Gambetta, en 1906, on a employé des pieux frettés octogonaux de 40 et 30 cm de diamètre, ayant respectivement 11 m et 11,60 m de longueur. Les uns sont armés de huit barres longitudinales de 29 mm, les autres de huit barres de 28 mm. Ils sont frettés à un pourcentage de 1 0/0, au moyen d'une hélice d'acier de 10 mm, respectivement au pas de 68 mm et 86 mm. Enfin l'écartement des spires a été diminué de moitié dans le premier mètre à partir de la tête.

Pourcentage total : (y compris l'armature longitudinale) { 4,2 0/0 pour les pieux de 40 cm. / 7,5 0/0 — de 30 cm.

Dosage : 450 kg de ciment, 0,800 m³ gravier, 0,400 m³ sable.

Poids du mouton 2 400 kg. Hauteur de chute 1 m.

Battage 2 1/2 à 3 mois après le moulage. Il n'était pas fait usage de casque.

Quelques décollements superficiels ont été observés, mais dans la région haute, dont une partie devait être recépée.

Précautions contre l'action de l'eau de mer.

Les précautions contre l'action de l'eau de mer sur l'armature ont pour but, soit d'empêcher l'introduction de l'eau à travers le béton, soit de revêtir le métal lui-même d'un enduit protecteur.

Pour donner au béton une imperméabilité suffisante, au moins à la surface, on a essayé d'y appliquer un enduit de ciment pur, mais cet enduit adhère mal à la masse et s'écaille aisément.

(1) Voisin, *loc. cit.*

Aux *Sables d'Olonne*, on s'est servi d'un revêtement, appliqué à chaud, de brai, résine et coaltar, qui semble accroître légèrement la résistance. La pénétration de cet enduit ne dépasse pas 4 à 5 mm, quelle que soit la durée du séchage préalable. Il faut éviter de prolonger l'immersion du pieu, et, si le bain est trop chaud, la température exagérée à laquelle le béton se trouve ainsi soumis y détermine des fissures.

Les essais d'injection d'hydrocarbures n'ont pas donné une pénétration meilleure.

En Allemagne, on a ajouté au béton une certaine quantité de trass, pour augmenter son imperméabilité, et l'on a tenté également de préserver directement l'armature elle-même par une peinture au minium ou par la galvanisation. Il semble qu'il faille se défier des peintures dont l'huile se décompose au contact du ciment et ne laisse plus qu'un dépôt pulvérulent, perméable par conséquent, et qui a en outre l'inconvénient de diminuer l'adhérence.

Au contraire, un simple enduit au ciment pur délayé dans l'eau constitue une bonne enveloppe protectrice et augmente l'adhérence.

Il convient en tout cas de placer les fers de l'armature à une distance suffisante de la paroi, sinon l'attaque du fer est certaine, surtout si la partie superficielle du ciment peut s'écailler. Dans certains travaux du port d'*Arcachon*, des taches de rouille apparaissaient sur des palplanches en béton armé où les fers n'étaient pas à plus de 1 cm de la paroi.

§ 4. — Barrages — murs de soutènement et encorbellements.

Il est toute une catégorie d'ouvrages formant l'une des grandes classes de travaux publics, et caractérisés par l'intervention de forces transversales — pression de l'eau ou poussée des terres; — ces ouvrages ont, par suite, à supporter des efforts de flexion.

S'ils sont constitués par des massifs en maçonnerie ou en béton non armé, il peut se faire que, les centres de pression, dans certaines assises, se trouvant en dehors du tiers central, toute une région située vers la face sur laquelle agit la poussée soit soumise à des efforts d'extension. La maçonnerie ordinaire est mal faite pour y résister, et il est tout naturel dès lors d'y

substituer du béton armé qui possède les qualités d'élasticité nécessaires.

Ces différents ouvrages comprennent les barrages, les murs de soutènement, les murs de quai.

Barrages.

Il est inutile de rappeler ici comment se rompent les murs de barrage en maçonnerie, soudainement, sans que, le plus souvent, par suite de leur manque d'élasticité, aucuns prodromes soient venus manifester l'imminence d'une catastrophe.

L'eau a exercé insidieusement son action destructrice, en se frayant un passage par les fissures capillaires que déterminent les efforts d'extension que nous venons de signaler, sur la face mouillée.

Cette eau pénètre et gagne de proche en proche, jusqu'au moment où le massif se rompt, dans la section de moindre résistance ainsi créée.

D'autres fois, sous la charge, lorsque l'ouvrage n'est pas enraciné dans un terrain imperméable, les infiltrations se produisent sous la base même de la digue qu'elles décollent et provoquent au glissement.

On a cherché, en Amérique, à empêcher l'eau de cheminer par les joints et à lui barrer la route, en interposant dans la masse un diaphragme en tôle. Mais ce dispositif présente le grand inconvénient de séparer cette masse, — à laquelle on devrait s'efforcer au contraire de conserver ses qualités de monolithe, — en deux blocs indépendants, et la somme de leurs résistances est loin d'être équivalente à celle d'un mur d'une seule pièce.

Il semble bien que cette solution bâtarde n'est qu'un compromis inadmissible, qu'il convient de rejeter, ce qui a conduit les Ingénieurs américains eux-mêmes à préconiser des barrages formés d'un simple rideau de tôle soutenu par une charpente entièrement métallique.

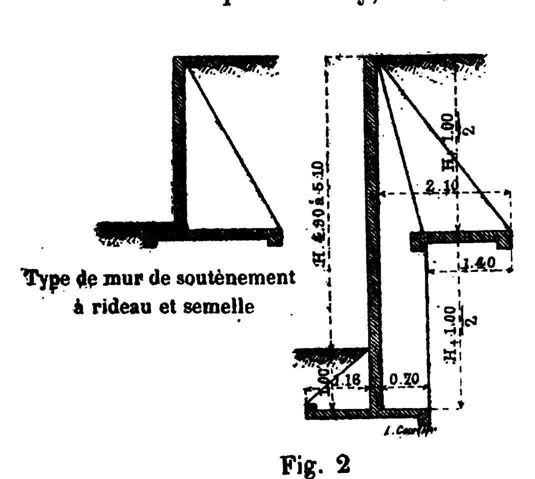
Les inconvénients d'un pareil système compensent, et au delà, l'avantage de l'élasticité et de l'étanchéité. C'est, d'une part, la difficulté d'empêcher les infiltrations à la base, où l'on est, de toute façon, forcé d'établir un important mur de garde ; c'est, d'autre part, la rapide destruction du métal directement exposé à l'air et à l'eau, malgré les soins coûteux que l'on peut prendre pour son entretien.

Mais, précisément, ces défauts disparaissent avec le béton armé, qui participe à la fois des avantages de la maçonnerie et du métal.

Les méfaits de l'eau, en effet, dans l'intérieur d'un mur, sont favorisés par l'hétérogénéité de ses matériaux ; mais ils proviennent moins de la porosité des mortiers que des fissures déterminées par les efforts d'extension, auxquels le rideau en béton armé résistera bien. En second lieu, l'ouvrage en béton armé prendra appui sur le sol par une large semelle, et son enracinement sera facilement réalisé par une file de pieux et palplanches prolongeant le rideau aussi profondément qu'il est nécessaire.

Murs de soutènement.

Les murs de soutènement, comme les barrages, sont soumis à des poussées obliques qui les sollicitent à la flexion. On ne saurait y appliquer le béton armé avec plus de judicieuse ingéniosité que dans le mur construit par la maison Hennebique, pour soutenir la tranchée du quai Debilly, à l'occasion de l'Exposition de 1900, à Paris (*fig.* 2). Cet ouvrage a d'ailleurs servi de type à toute une série de travaux analogues. Il comprend en principe trois éléments : un rideau de mince épaisseur, une ou plusieurs semelles horizontales, et enfin des contreforts verticaux décomposant le rideau en travées susceptibles de résister à la flexion, et solidarisant ce rideau et la semelle. Le poids de la terre qui charge la semelle suffit pour équilibrer l'effort de renversement. La semelle peut d'ailleurs être placée à une hauteur quelconque en arrière du rideau qui se trouve ainsi divisé en plusieurs zones où les poussées sont réduites presque à volonté.



Type de mur de soutènement à rideau et semelle

Fig. 2

Mur du quai Debilly

ENCORBELLEMENTS.

On peut rattacher aux murs de soutènement les encorbellements qui les surmontent souvent. C'est ainsi qu'à l'usine des houilles et agglomérés de *Chantenay*, près Nantes *(fig. 3)* il a été créé une estacade formée d'un mur de quai du système précédent, de 4,60 m de hauteur, supportant une dalle en porte-à-faux de 6 m, au moyen de consoles de 0,40 m de largeur, espacées

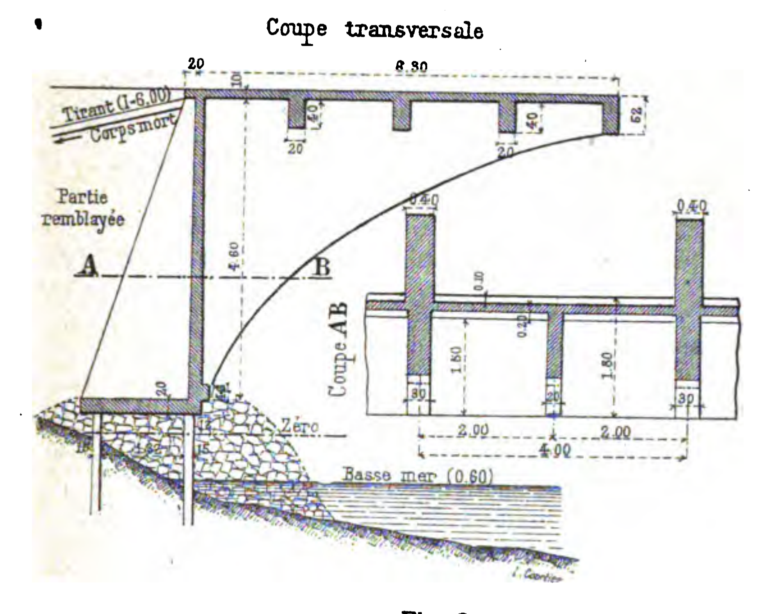


Fig. 3

de 4 m d'axe en axe. Le hourdis de 0,10 m est renforcé par quatre nervures longitudinales.

La semelle n'ayant que 1,80 m de largeur, la charge de terre qu'elle supporte n'aurait pas été suffisante pour équilibrer le porte-à-faux, et l'on a ancré la dalle supérieure au moyen de tirants de 6 m de longueur, reliés à des plaques de corps morts noyées dans les terres.

Un semblable ancrage est toujours un peu aléatoire, et, en effet, l'ouvrage précédent s'est cintré sur une certaine longueur, quoiqu'il eût subi tout d'abord les épreuves prescrites sans défaillances.

Il semble bien que l'ensemble de la construction devrait avoir une stabilité propre suffisante, sans avoir recours à des ancrages dans le sol, ce qui peut s'obtenir par une largeur convenable de la semelle, ou en donnant au mur lui-même la masse nécessaire. C'est la solution adoptée par M. l'Ingénieur en chef Rabut pour le très beau travail d'encorbellement qu'on exécute en ce moment même, à l'occasion de l'élargissement de la tranchée des Batignolles, pour le passage des nouvelles voies du chemin de fer de l'Ouest, à Paris. Le porte-à-faux, qui est de 4 m au minimum, atteindra 7 m sous la rue de Rome. La dalle en béton armé est soutenue par des consoles de même nature, solidement reliées au mur de soutènement, qui est un massif épais de béton ordinaire, parementé en meulière. Une poutre en béton armé court à la queue de ce mur, et les armatures y sont fortement ancrées.

§ 5. — Travaux à la mer. — Murs de quai.

Les murs de quai rentrent dans la catégorie des travaux à la mer, où des exigences spéciales se présentent, devant lesquelles on conçoit les hésitations des Ingénieurs lorsqu'il s'agit d'introduire de nouveaux procédés de construction, qui demandent la plus grande circonspection. Il ne faut donc pas s'étonner de la lenteur avec laquelle le béton armé s'y fait sa place légitime, tout en regrettant peut-être qu'en France cette circonspection nécessaire ait frisé pendant longtemps l'obstruction.

Les faits, cependant, s'accumulent aujourd'hui, qui permettent de s'affranchir peu à peu des appréhensions du début et de faire confiance au nouveau venu.

Les travaux à la mer se présentent le plus souvent sous ces deux conditions antagonistes, qu'il leur faut une masse considérable pour résister à la violence des vagues, et une légèreté relative imposée par le peu de consistance du terrain qui leur sert d'assiette.

Pour les soutenir et protéger les fondations, on a fait pendant longtemps un large usage des pilotis en bois, et nous avons vu qu'on peut y substituer avantageusement les pieux en béton armé. Mais il faut compter encore avec l'action destructive de

l'eau de mer sur les meilleurs mortiers, qui a sa répercussion sur la durée des massifs de maçonnerie ordinaire.

On voit immédiatement quelques-uns des avantages que peut offrir la substitution du béton armé au bois et à la maçonnerie ; mais il est permis de se demander si ce nouveau mode de construction, encore mal connu, ne comporte pas des défauts plus graves que ceux dont on voudrait s'affranchir.

Au chapitre des avantages, il faut classer : les facilités d'enracinement au moyen de pieux et palplanches qui défient les tarets ; l'intime liaison de cette substruction avec les œuvres hautes, aussi bien que la solidarité complète de tous les éléments du système ; leur élasticité qui leur permet de résister à des charges statiques considérables ; les épaisseurs réduites de tous les éléments de la construction, grâce à quoi le terrain n'est point surchargé au delà de ce qu'il peut porter.

Au chapitre des défauts réels ou supposés, on inscrira cette légèreté même qui semble devoir rendre les ouvrages inaptes à résister aux efforts dynamiques et en particulier au choc des vagues ; l'action destructive de l'eau de mer sur le ciment, qui ne saurait être négligée, et l'on peut craindre que, soit par porosité, soit par des fissures capillaires, cette eau de mer ne parvienne jusqu'aux armatures, qui seraient alors rapidement détruites.

Nous verrons tout à l'heure par quels artifices on y peut remédier ; mais, pour le moment, il est bien certain que les ouvrages les plus anciennement construits n'ont guère plus de dix ans d'existence, et, s'ils se comportent bien jusqu'à présent, l'expérience peut sembler encore trop courte pour qu'on en puisse tirer une conclusion définitive.

Les premiers murs de quai auxquels le béton armé a été appliqué, sont ceux de *Woolston* et *Southampton*, construits en 1898, par la maison Hennebique.

Il est possible d'appliquer aux ouvrages de ce genre les mêmes méthodes qu'aux murs de réservoir et de soutènement, et c'est en s'inspirant du système adopté pour le quai Debilly que le même constructeur a formulé, en 1900, ses premières propositions à l'administration française qui, malheureusement, n'avait point encore abandonné ses préventions du début. Aussi, dans cette période, on trouve sans doute à citer des appontements, des jetées-promenades, des estacades en béton armé *(fig. 4, Pl. 170)*,

mais pas de murs de quai proprement dits, sauf peut-être ceux des nouveaux bassins à flot de Bordeaux, d'une composition assez hybride, d'ailleurs, où le béton armé ne sert qu'à fermer l'arrière d'une série de voûtes en décharge.

C'est donc à l'étranger qu'il nous faut encore chercher des exemples, établis parfois par nos propres constructeurs.

Dans l'avant-port d'*Husum*, en Allemagne, un mur de rive (*fig. 4*)

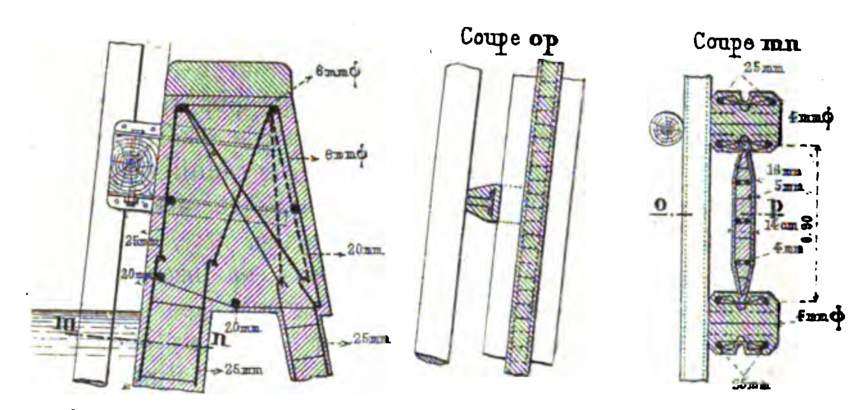


Fig. 4
Mur de rive, port d'Husum (All.)

a été construit entièrement en béton armé (1905 à 1907), par le Service royal d'Inspection des constructions maritimes (1). Le système de construction comprend une série de palées composées d'un pieu extérieur (35 × 35 cm) légèrement incliné, et d'un pieu d'ancrage formant contre-fiche en arrière. Les palées laissent entre elles des vides d'environ 0,90 m de largeur, fermés par des plaques de béton armé de 0,14 cm d'épaisseur, amincies sur les bords qui s'engagent dans des rainures ménagées le long des pieux d'avant.

A *Wilhelmshaven*, à la même époque, on a également établi des murs de quai, l'un de 4 m de hauteur, au nouveau port marchand, l'autre de 10 m, au bassin de construction du chantier maritime.

Le premier se compose d'un rideau, d'une semelle horizontale intérieure de 2,70 m de largeur et de contreforts espacés de 5 m. Le mur de 10 m comporte, à la partie supérieure, un mur

(1) Mœller, *loc. cit.*

semblable au précédent, reposant sur un massif en béton établi entre des cours de palplanches en bois. Postérieurement, on a renforcé ce dispositif par une file de pieux obliques en bois, en même temps que par des ancrages sur des pieux en béton, inclinés obliquement vers l'arrière.

Malgré ce que cet ensemble offre de composite, on y retrouve les éléments essentiels du mur de soutènement, tel que le quai Debilly en offrait le premier modèle : le rideau, la semelle et les contreforts.

Les murs de quai de *Shickolk*, à Rotterdam, sont encore une application du même système. Le mur proprement dit repose sur d'anciens pieux en bois. Dans cet ouvrage, on a à dessein exagéré la largeur de la semelle, pour ramener la résultante des charges et des poussées sur les pilots arrière des fondations, en déchargeant les pieux antérieurs qui étaient en mauvais état.

Le principe des murs à rideau et semelle est particulièrement rationnel et fécond. Il se prête aux dispositions les plus diverses, en faisant varier la hauteur de la semelle, et ne se trouverait en défaut, jusqu'à un certain point, que lorsque la paroi est exposée à des efforts dynamiques considérables, par suite du choc des vagues, ce qui sollicite à donner à l'ensemble une grande masse, ou lorsqu'on peut craindre des infiltrations susceptibles de provoquer des affouillements en arrière du mur.

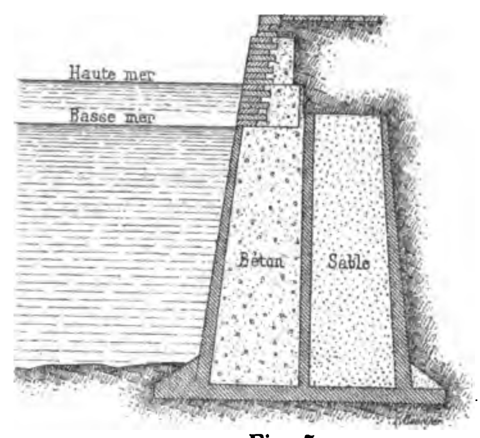


Fig. 5

Murs de quai de Rotterdam

Dans ce cas, on fera intervenir utilement l'emploi de caissons en béton armé, flottables ou sans fond, avec cloisons de contreventement, ces caissons devant être remplis de maçonnerie, de pierrailles ou de béton maigre, tels enfin que la maison Hennebique en proposait, dès 1900, pour la construction des *quais de Rouen*. Dans ce projet, certains compartiments devaient présenter des trous tout préparés, pour permettre de battre des pieux en béton armé, clouant, pour ainsi dire, le caisson au sol.

C'est à ce type que se rapportent les travaux neufs exécutés plus récemment pour les *quais de Rotterdam (fig. 5)*. Les caissons employés sont divisés en deux compartiments par un refend longitudinal, le compartiment arrière devant être rempli de sable ou de terre, tandis que le compartiment avant était lesté en béton.

Ces caissons, d'une hauteur totale de 12,50 m, émergent de 2,50 m seulement et forment le soubassement de murs en maçonnerie ou en béton parementé en basalte. Ils ont été construits dans une cale sèche, où l'accès de l'eau les mettait naturellement à flot.

A *Valparaiso* (Chili), les quais récemment construits comportent également des caissons de 6 m à 6,50 m de longueur et 11 m de

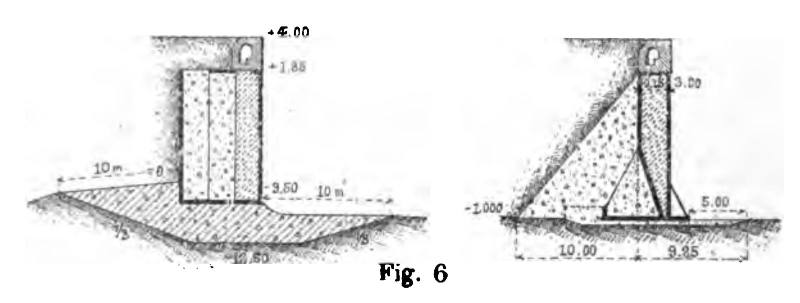


Fig. 6

Quai de Valparaiso
Type N° 1

Quai des bassins de Valparaiso
Type N° 2

hauteur, divisés par deux cloisons en trois compartiments longitudinaux *(fig. 6)*.

Construits à terre et amenés par flottage sur leur emplacement convenablement dressé par dragage, le compartiment extérieur a été rempli de béton et les deux autres d'un mélange d'enrochement et de sable. L'épaisseur des parois de ces caissons varie de 20 à 35 cm. Après remplissage, enfin, on les a surmontés d'un couronnement en maçonnerie de moellons ordinaires, hourdée en ciment, avec une galerie voûtée, destinée au passage des diverses canalisations.

Les quais des nouveaux bassins, dans le même port, présentent un dispositif un peu différent, sur lequel il n'est pas nécessaire d'insister.

En matière de béton armé, nous avons déjà dit que les Ingénieurs russes ont montré une initiative qui fait un assez vif contraste avec nos propres hésitations. Le *port de Nicolaïeff* nous offre des exemples de quais, d'estacades, de brise-lames, et nous

trouvons également à *Novorosiisk* des quais construits au moyen de caissons en béton armé, dont les parois n'ont pas plus de 10 cm d'épaisseur en haut, 15 cm à la base, avec des cloisons de 8 cm seulement (1).

Enfin, nous citerons les quais de *Montevideo*, comme exemple d'un type qui diffère un peu des précédents.

Ces murs, de 11 m de hauteur, comportent, en effet, des piles de 4 m de largeur, en maçonnerie, laissant entre elles des vides de 8 m.

Le béton armé a été utilisé pour former les linteaux jetés sur ce vide, composés de 3 poutres droites accolées, de 1 m de hauteur. En outre, on a constitué le rideau qui ferme le vide au moyen de palplanches en béton armé.

Les piles en maçonnerie ont été fondées à l'aide de caissons à carcasse métallique fort ingénieux, mais dont la description ne rentre pas dans le cadre de cette étude.

Quant au rideau en palplanches, il ne joue pas, sans doute, absolument le rôle attribué à ce genre d'organe, en ce sens que les palplanches n'ont pas été battues, n'ayant pas besoin d'une grande fiche, parce qu'elles sont maintenues, de part et d'autre, par des enrochements. On s'est contenté, pour les mettre en place, de réunir les 17 palplanches d'une travée en les moisant au moyen de fers en U; cet ensemble est alors saisi par une bigue de 50 t qui le dresse et le descend à son emplacement.

§ 5. — **Digues et brise-lames.**

L'organisation de digues, jetées et brise-lames, directement exposés aux violences de la mer, justifie, plus encore que les murs de quai, l'emploi de blocs d'une masse considérable, et l'on tend de plus en plus à y employer des caissons amenés par flottage, à la construction desquels le béton armé se prête le mieux du monde.

A *Bizerte*, les caissons mesuraient 30 × 9 × 8 m, et ceux des musoirs étaient encore plus grands.

Dans les beaux travaux de *Zeebrugge*, que M. Coiseau a magistralement décrits devant la Société des Ingénieurs Civils (2),

(1) Dosage : 700 kg de ciment, 0,6 m^3 gravier, 0,6 m^3 sable. Voir le rapport de M. Vosnessenski, au *IXe Congrès de Navigation.*

(2) *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, décembre 1904.

la jetée pleine a été établie au moyen de caissons amenés par flottage, mesurant 25 m de longueur sur 7,50 m et quelquefois 9 m de largeur, avec une hauteur variant de 7 à 9 m.

Toutefois, dans bien des cas, pour des digues de défense, notamment lorsque l'ouvrage peut être exécuté à sec ou à peu près, l'économie conduit parfois à associer sous une autre forme la maçonnerie ordinaire et le béton armé employé pour lui servir de chemise. Nous avons déjà cité les digues de Boulogne et de Trévignon, qui rentrent dans cette catégorie. Il en est de même de celles construites en 1906 dans l'*estuaire de la Seine* et à *Paramé*.

Ces digues comportent, d'une manière générale, un noyau d'enrochements revêtu d'une couche de béton coulé sur place. Dans certains cas, on s'est contenté de béton ordinaire, sur 0,20 m d'épaisseur; mais sur certains points plus particulièrement soumis aux coups de mer et plus fréquemment disloqués, on a armé le béton au moyen d'une feuille de métal déployé n° 15. Ce travail a donné des résultats satisfaisants, sous la seule réserve d'établir des joints de distance en distance; afin qu'on soit averti des affaissements partiels du noyau, qui se trouvent ainsi localisés.

A Paramé, le revêtement armé ne règne qu'au-dessus du niveau des plus hautes mers (1).

Le béton armé se prête d'ailleurs aux combinaisons les plus variées. C'est ainsi que, pour les travaux sous-marins exécutés par le service des Ponts et Chaussées, au cap Pinède, on a employé des chambres de travail surmontées de cheminées ou colonnes creuses, le tout en béton armé *(fig. 5, Pl. 170)*.

§ 7. — Protection des dunes et des berges.

Jusqu'à un certain point, on pourrait assimiler les travaux de protection des berges et des dunes à ceux que nous venons d'indiquer pour les digues. Mais, dans ce cas nouveau, l'économie est encore plus nécessaire, s'il est possible. En outre, la dune ou le terrain de la berge offre un noyau tout préparé qu'il est rationnel d'utiliser, en se contentant de le recouvrir d'un revêtement solide.

(1) Voisin, *loc. cit.*

L'inclinaison, d'autre part, est assez forte pour qu'il n'y ait à envisager aucun rôle de soutènement, et cependant l'ouvrage est dans des conditions difficiles lorsqu'il doit subir les effets de percussion violente dus au choc des vagues. L'épaisseur du revêtement est toujours très faible, en effet, par rapport à ses dimensions superficielles, et l'on ne saurait compter sur sa masse et son inertie pour résister.

C'est, en définitive, une simple chemise qui doit suivre le terrain dans ses mouvements généraux, et pourtant ne pas s'effondrer avec lui, s'il se produit quelque affouillement partiel.

Une seule dalle continue et d'épaisseur partout uniforme ne semble pas devoir satisfaire à ces conditions diverses. Il serait à peu près impossible d'éviter les dislocations sur une aussi vaste étendue, et il se produirait des fissures, portes ouvertes par où l'eau pénétrerait, provoquant des affouillements et atteignant les fers d'armature qui se trouveraient rapidement corrodés.

En principe, il convient de constituer sur le talus un cadre ou réseau résistant, formé de poutres en quadrillage, les mailles de ce réseau étant simplement operculées par des dalles de dimensions restreintes et très minces par cela même.

Parfois on clouera tout le dispositif au sol au moyen de courts pieux en béton armé.

Quelques constructeurs interposent, en outre, un matelas élastique en fascinage.

Il sera bon également de laisser aux diverses parties de cet ensemble une certaine liberté de déplacements relatifs, soit en ménageant des joints de dilatation, soit par tout autre artifice.

Enfin, on devra apporter un soin tout particulier à l'enracinement du pied de ce revêtement, pour empêcher les affouillements qui en amèneraient la ruine rapide. On s'est contenté, parfois dans ce but, d'y placer des rouleaux de fascines chargés d'enrochements (1); une file de palplanches donnera une solution plus coûteuse, mais plus efficace.

Sous le bénéfice de ces réserves et de ces précautions, on doit reconnaître, avec M. l'Ingénieur en chef Voisin, que le béton armé donne, non seulement la solution la plus économique du problème, mais celle qui présente le plus de sécurité, en raison des propriétés spéciales du béton armé :

1° La solidarité que l'armature procure à toutes les parties de l'ouvrage;

(1) Applications du système Mœller, dans la baie de Kiel.

2° La faculté de résister aux efforts d'extension et de flexion qui se produiraient dans le cas où des vides partiels se manifesteraient sous le revêtement (1);

3° L'enracinement énergique qu'il est facile de réaliser en enfonçant dans le sol des fils de palplanches et des palées;

4° Enfin l'inaltérabilité de cet enracinement, tandis que des ouvrages en bois seraient rapidement détruits.

Si l'on a été assez longtemps, chez nous, à faire usage des procédés nouveaux, encore qu'ils aient été proposés dès 1898, il faut espérer que les récents travaux exécutés engageront à persévérer dans cette voie. On peut citer notamment les ouvrages construits, il y a sept ou huit ans, dans les ports de Dieppe *(fig. 7)*

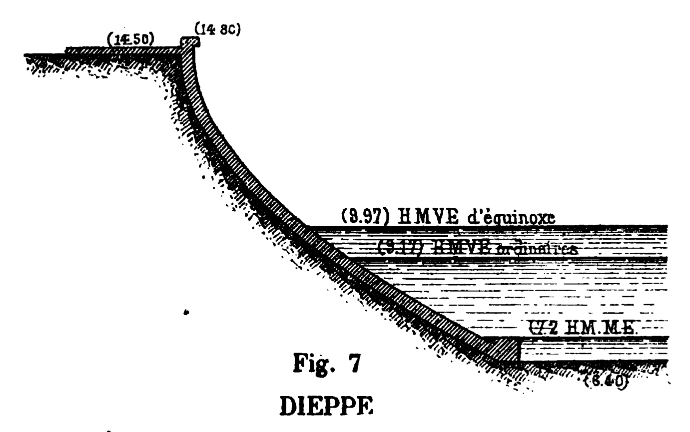


Fig. 7

DIEPPE

Pèrré en béton armé à l'Ouest du Casino

et de Fécamp, et plus récemment, pour la protection des dunes de la *Belle-Henriette*, sur le littoral vendéen, près de l'embouchure du Lay.

La dune, autrefois très haute et puissante, en ce dernier point, était à peu près emportée par les eaux qui menaçaient d'envahir à brève échéance la vaste étendue de terrains bas, assez analogues aux polders hollandais, qui s'étendent entre Luçon et la mer.

A l'appel du syndicat de Moricq, formé par les propriétaires

(1) Ce cas s'est présenté, notamment pour le revêtement exécuté sur la plage ouest du port de Dieppe. Huit jours seulement après l'achèvement, une tempête ayant affouillé l'extrémité de ce perré, l'ouvrage resta suspendu sur 4 à 5 m de longueur, en se voilant, il est vrai, mais sans se rompre. On le remit en place, en pilonnant les terres en arrière, ce qui détermina le redressement progressif.

de cette zone, le Ministère de l'Agriculture décida d'intervenir pour moitié dans la dépense à engager en vue des travaux de préservation.

Deux projets étaient en présence : l'un en maçonnerie, l'autre en béton armé. C'est ce dernier, présenté par la maison Hennebique, qui eut la préférence et fut exécuté.

Le profil de l'ouvrage comporte essentiellement une dalle de 10 cm d'épaisseur qui, d'abord à pente uniforme, se redresse en courbe parabolique jusqu'à la verticale, au-dessus des hautes mers de vive eau ($h = 4$ à 5 m). Elle se retourne ensuite pour former un chemin de ronde, avec un écran vertical, destiné à briser la lame et à l'empêcher de franchir la digue (*fig. 8*).

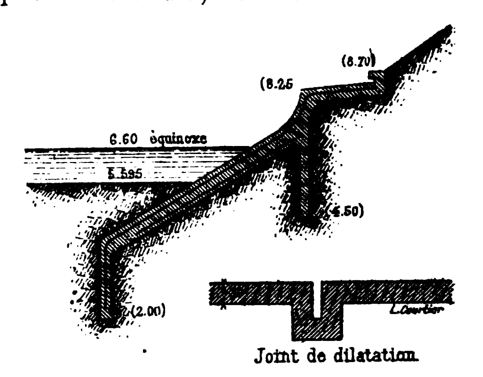


Fig. 8

Revêtement de la Belle Henriette

Cette dalle est renforcée par une série de nervures, espacées de 4 m et disposées dans le sens de la plus grande pente.

De deux en deux, ces nervures portent, sur une partie de leur hauteur, des évidements formant joints de dilatation.

Enfin, le pied de l'ouvrage est protégé contre les affouillements par une file de palplanches jointives en béton armé (1), battues dans des conditions assez difficiles, à travers des couches de sable fin, très compact, et d'argile ou « bry ».

La longueur totale de l'ouvrage est de 503 m, et la dépense n'a pas dépassé 300 f par mètre courant.

De nombreux travaux de consolidation en béton armé ont été faits à l'étranger. Les plus anciens — ils datent de 1897 — concernent la défense des berges du *canal de l'Oder à la Sprée;* ils comportent une série de plaques Monier de faibles dimensions, placées côte à côte, sur la ligne de batellement et s'appuyant sur les chapeaux d'un revêtement noyé, en charpente.

(1) Les palplanches ont une section de 40 × 15 cm et présentent des rainures demi-circulaires sur les deux flancs. Dans la cavité ainsi formée lorsque les palplanches sont en place, on dispose une tige de fer et l'on coule du ciment.

L'armature de chaque palplanche se compose de quatre tiges de 12 mm.

Plus importants sont les revêtements des berges du *canal de Dortmund à l'Ems*, où fut appliqué le système imaginé par M. Möller, Professeur à l'École Polytechnique de Brunswick. Ce système comporte une dalle d'épaisseur uniforme, retenue au sol par une série de piquets cylindriques de 0,25 m à 0,55 m de longueur, espacés en quinconce de 0,50 m à 0,75 m ; ces pieux n'ont que 0,04 m de diamètre et sont armés suivant l'axe d'un fer de 4 mm, dont le bout supérieur, retourné en crochet, saisit le fil du treillis qui arme la dalle. Celle-ci, coulée sur place sur toute l'étendue, a une épaisseur de 4 à 5 cm seulement en terrain ferme, et de 10 à 15 cm en terrain inconsistant. L'armature est formée d'un treillis de fils lâches de 2 à 4 mm.

Sur le canal de Kiel, entre Holtenau et Friedrichsort, l'épaisseur, qui avait primitivement 6 cm, a été reconnue insuffisante ; on l'a portée à 8 et 12 cm et l'armature est composée de fers de 7 mm espacés de 0,60 m. L'estran, devant le talus, est protégé par un rouleau de fascines, recouvert et fixé par des enrochements.

Même avec ces dimensions et ces renforcements, il est à craindre qu'un pareil revêtement soit sujet à se fissurer, malgré les joints de dilatation qui, dans les dernières applications, ont été ménagés tous les 20 m. La dépense, on le comprend, est minime avec un pareil système; elle ne dépasse pas 4 f par mètre carré.

D'autres revêtements ont été faits, en Allemagne, dans le système Rabitz, qui comporte une dalle de 0,20 m, ancrée dans le sol par des tiges à vis en fer, qui ne sont pas à l'abri de la rouille. On y a observé de fréquentes fissures suivant la plus grande pente.

En Hollande, le système imaginé par l'Ingénieur de Muralt, où le métal déployé trouve un utile emploi, est particulièrement bien étudié pour satisfaire aux conditions spéciales que comporte ce genre d'ouvrages, et notamment pour localiser les déformations inévitables, sans fendillements.

Le grillage de force est, en effet, indépendant des dalles qui en remplissent les mailles. Appuyées sur un mur de garde assez puissant et bien enraciné pour empêcher les affouillements, les poutres de plus grande pente ont un profil en T, et c'est sous les ailes de ce T que viennent se loger les dalles, coulées sur place, d'ailleurs. Ces dalles dessinent une série de gradins formant brise-lames ; le choc des vagues se trouve ainsi atténué, en

même temps que la vitesse à la descente. Elles reposent sur un matelas élastique en fascinage, fixé au sol par des piquets en quinconce (*fig. 6, Pl. 170*).

Nous citerons enfin le système de revêtement préconisé par M. Paul Decauville, et qui consiste en une série de pièces moulées en béton, ces pièces se juxtaposent en s'emboîtant suivant les lits et joints. Elles sont percées de trous dans lesquels on passe des fils d'acier suivant la plus grande pente du talus, en y coulant ensuite un lait de ciment. Ce procédé donnerait ainsi une excellente protection des berges de canaux et rivières, au niveau du batellement.

§ 7. — Organisation des ports.

Docks-silos.

L'organisation des ports offre de nombreuses occasions, en dehors des travaux maritimes proprement dits, d'appliquer le béton armé, soit pour la construction des phares, soit pour l'établissement de docks et magasins, et, dans cette catégorie, on peut comprendre les silos qui deviennent, de plus en plus, un accessoire indispensable des installations, surtout dans les ports où se fait principalement le commerce des grains.

Phares et cheminées d'usines.

On peut ranger sous la même rubrique — encore que cela puisse sembler paradoxal — les phares et les hautes cheminées d'usines. Dans les deux cas, en effet, il s'agit de corps prismatiques très hauts, plantés verticalement dans le sol, soumis à l'effort latéral du vent et travaillant à la flexion, à la manière d'une console encastrée.

Malgré son apparente simplicité, une haute cheminée, par ses proportions, n'est pas un ouvrage d'art indifférent. Le béton armé est tout indiqué pour résister aux efforts de flexion qui s'y manifestent, et son emploi est de plus en plus fréquent, en Amérique surtout, pour cet usage.

Certains phares sont construits sur des points élevés du rivage, où ils se trouvent soustraits aux coups de mer. Ils n'ont dès lors à supporter — comme les cheminées, et abstraction faite

des efforts de compression dûs à leur propre poids — que la pression horizontale du vent qui tend à faire fléchir l'ouvrage, s'il est bien enraciné, ou à le faire glisser sur sa base, dans le cas contraire.

Il est facile de calculer une tour en béton armé dans ces conditions, et d'assurer à l'ouvrage une sécurité parfaite. La seule objection qu'on fit, au début, à ce mode de construction, c'est son élasticité même. La crainte s'est manifestée qu'en raison des faibles épaisseurs que comporte le béton armé, l'ensemble du système fût soumis à des vibrations et à des oscillations susceptibles de nuire au bon fonctionnement des appareils optiques.

On pourrait faire remarquer que les phares métalliques participent des mêmes défauts à un degré au moins égal, et que ces défauts n'ont jamais paru de nature à en faire rejeter l'usage. Ils se présentent sans aucune atténuation dans la Tour Eiffel, où l'on a pourtant installé les appareils délicats d'un observatoire météorologique.

On objecte aussi que l'action du soleil sur un cylindre aussi mince doit occasionner des déformations notables et changeantes avec l'orientation de l'astre. Mais cette influence des dilatations, n'agit-elle point sur les tours en maçonnerie elles-mêmes ? Le *phare de la Coubre*, pour ne citer que celui-là, qui comporte une épaisse muraille de béton, s'étant fissuré longitudinalement, n'a-t-on pas constaté que les fissures s'ouvrent et se referment suivant l'heure du jour et l'orientation des rayons solaires ? Or, une paroi de béton armé se déformera peut-être ; mais elle ne se fendra pas.

On peut du reste atténuer singulièrement cet inconvénient et surtout celui des vibrations exagérées, par le mode de construction lui-même et par l'organisation d'une double chemise. Le cylindre intérieur, renforcé par l'escalier à vis et relié à la paroi extérieure par des cloisons rayonnantes, est soustrait à l'action directe du soleil, aussi bien qu'à celle du vent et au choc des paquets de mer — si l'ouvrage y est soumis, — et c'est ce cylindre intérieur qui porte les appareils optiques.

Les difficultés d'enracinement ne sont pas plus grandes que pour un phare en maçonnerie. C'est ainsi que le phare d'*Hornun* (*fig. 9*), dans la Frise du nord, a pour soubassement une chambre en béton armé dont les parois se relient à un radier de même nature ; ce radier est simplement encastré de 1,80 m dans le sol, et l'on s'est contenté de lester tout l'ensemble par un remplis-

sage en béton ordinaire qui porte à 2 m l'épaisseur totale de la fondation.

Dans divers projets, M. Hennebique a proposé de donner au massif une forme évasée vers le bas pour obtenir un meilleur ancrage.

Enfin, si l'on s'appuie sur une plate-forme de rocher, il est facile d'y sceller fortement les armatures métalliques.

Malgré les avantages évidents de la construction en béton

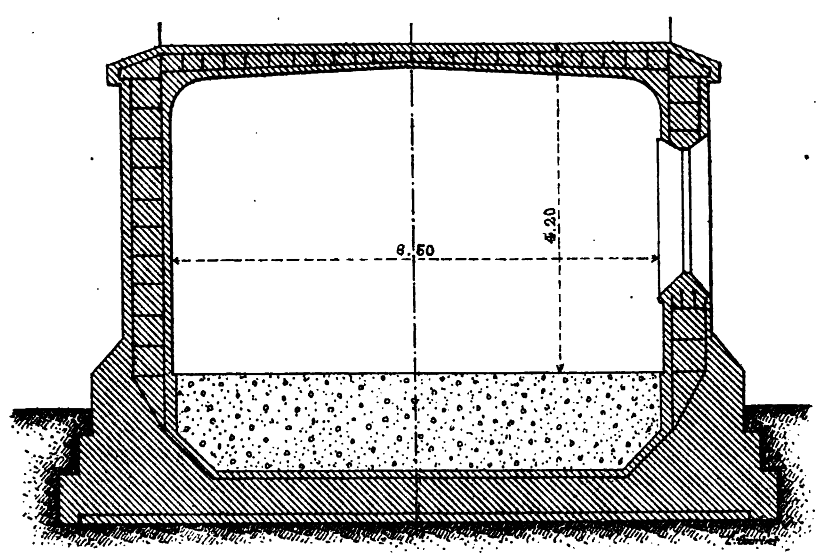


Fig. 9

Fondation du phare de Hornum

Frise septentrionale

armé, on a été longtemps avant de l'admettre dans l'érection des phares. Dès 1897, cependant, la maison Hennebique présentait sans succès un projet particulièrement économique pour une tour qu'on devait élever à Poulo-Canton, près de Tourane.

Ce n'est qu'en 1904 que, sur un plan à peu près identique, un phare fut construit, non pas en France, mais en Russie, à *Nikolaïeff* (1) : c'est, croyons-nous, le premier ouvrage de ce genre.

Or, tandis que ce phare se construisait en Russie, dans cette même année 1904, des propositions étaient faites à l'Administra-

(1) *Nouvelles Annales de la Construction*, juillet 1904.

tion française pour l'érection du phare de la *Coubre*; mais ces propositions étaient rejetées, parce que, d'après le mémoire publié à ce sujet dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, « le béton armé présente une trop grande élasticité » (1). On se contenta de l'appliquer aux planchers et d'en constituer une mince chemise trop faiblement armée pour avoir une efficacité quelconque, autour des murs en béton de ciment auxquels on a donné les épaisseurs consacrées par la pratique ancienne, ce qui ne les empêcha pas de se fendre suivant un plan diamétral, comme nous l'avons dit.

Nous voilà donc en présence de deux phares contemporains, construits, l'un en maçonnerie de béton à la Coubre, l'autre en béton armé à Nikolaïeff. Il n'est pas sans intérêt de les soumettre à une courte comparaison.

La fondation du phare de Nikolaïeff comporte une table de 2,20 m de hauteur en béton ordinaire, pilonné dans un caisson en béton armé qui descend à 2,50 m au-dessous du sol. Ce massif va en s'épanouissant vers la base, le diamètre passant de 6 m à 8,60 m.

La chemise en béton armé, fortement soudée au radier, se prolonge sans solution de continuité, pour former le fût qui supporte, vers le sommet, une chambre ou tambour circulaire de 4,30 m de diamètre et de 3 m de hauteur, surplombant ainsi la paroi de la tour proprement dite. Le tout est surmonté par la lanterne à calotte hémisphérique, directement soutenue par le cylindre intérieur. Le tout est en béton armé, et la hauteur totale au-dessus du sol est de 40,50 m.

Les épaisseurs de parois sont les suivantes :

A la base	20 cm
A 12 m au-dessus du sol	15
Au sommet du fût	10
Chambre-magasin	8
Lanterne et coupole	7 1/2

Dans ces conditions, le poids total est de 467 t, dont 353 t pour le béton armé.

L'exécution n'a demandé que deux mois, et n'a coûté que 28 000 f.

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1er trimestre, 1906.

Le phare de la Coubre mesure 56,70 m au sommet des maçonneries. La construction a duré neuf mois et a coûté :

Pour fourniture de matériaux, main-d'œuvre, installations de chantier	97 297 f
Dépense d'escalier, enduit, etc	42 700

Soit en chiffres ronds 140 000 f.

En admettant l'exacte proportionnalité de la dépense à la hauteur, le même ouvrage en béton armé n'aurait coûté, pour son gros œuvre, que 40 000 f au lieu de 97 000.

Le calcul montre d'ailleurs que, de façon générale, la construction d'un phare en béton armé doit procurer une économie de 38 0/0 sur la construction en maçonnerie.

Le poids total du phare de la Coubre est de 5 500 t, ce qui porte à 2,75 kg par centimètre carré (et même 3,39 kg en cas de grand vent) la charge du terrain, qui est ici le sable de la dune.

Le poids de l'ouvrage en béton armé eût été le tiers environ du précédent, et le sol de la fondation s'en serait trouvé singulièrement soulagé.

Enfin l'on peut ajouter que les minces parois en béton armé dégagent l'espace intérieur et le rendent beaucoup plus facilement utilisable.

Conclusion.

Nous avons passé en revue la plupart des travaux — les principaux du moins — auxquels le béton armé est applicable.

Dans cet exposé, d'autant plus aride qu'il était nécessairement rapide, nous ne pouvions avoir d'autre prétention que d'embrasser, d'un coup d'œil d'ensemble, le vaste champ d'utilisation de ce mode nouveau de construction, dans le domaine des travaux publics et, surtout, des travaux maritimes.

Ce serait enfoncer une porte ouverte, sans doute aujourd'hui, que de plaider la cause du nouveau venu dans l'art de la construction. Il suffit de dire qu'il est d'une incomparable souplesse et peut s'appliquer à tout; mais encore y a-t-il la manière et, si ce qui fait du tort à l'automobilisme, ce sont les chauffeurs téméraires, on a pu craindre que le béton armé ne pâtît et ne fût vite discrédité par les entreprises mal étudiées de quelques imprudents.

Aucun procédé de construction n'est plus sûr, au contraire, que le béton armé manié par les spécialistes que nous avons en France et dont les noms sont sur toutes les lèvres, grâce auxquels des expériences concluantes marquent dès à présent ce que ce mode de construction peut donner dans toutes les branches des travaux publics, et en particulier dans les travaux à la mer. On peut envisager avec confiance les développements nouveaux que lui réserve l'avenir et les ressources précieuses qu'y découvrira encore l'art de l'Ingénieur.

NOTE

SUR LES

TRAVAUX DU PORT D'ANVERS(1)

PAR

M. A. ALBY

Dans une conférence magistrale faite récemment à la Société des Ingénieurs Civils, M. Georges Hersent, en parlant du développement des ports maritimes de l'étranger, a montré les projets vraiment colossaux que nos voisins ont été conduits à envisager et à mettre progressivement à exécution à Anvers.

Quel que soit leur intérêt, la présente étude ne comporte pas l'examen de statistiques comparatives. Il suffit de rappeler que le tonnage à l'entrée des navires du port d'Anvers est voisin de 11 millions de tonneaux; qu'il n'est comparable qu'au tonnage des ports de Hambourg et Rotterdam sur le continent; que le tonnage en poids des marchandises arrivant, tant par mer que par voie ferrée et batellerie, est de 17 millions et demi de tonnes; que le tonnage des expéditions atteint 16 millions et demi (2).

Anvers reçoit une fraction importante du trafic de batellerie du Rhin, dont la plus grande partie se dirige néanmoins sur Rotterdam ; mais Anvers a un trafic par voie ferrée considérable : le mouvement journalier des wagons de marchandises sur les voies de ses quais est de 6.000 wagons.

L'objet spécial de la présente étude se réduit aux travaux que le port d'Anvers vient d'achever, depuis quelques années, et de ceux qu'il va réaliser très prochainement.

(1) Voir Bulletin d'octobre 1908, page 566.

(2) Ce tonnage est partagé en gros entre les trois voies de la manière suivante :

Pour les arrivages,	par mer	9 millions.
—	par voie ferrée	3 millions.
—	par batellerie	5 millions et demi.
Et pour les expéditions :	par mer	7 millions.
—	par voie ferrée	4 millions et demi.
—	par batellerie.	5 millions.

Le tonnage correspondant pour Marseille est voisin de 5 millions de tonnes.

Tout d'abord, il convient de rappeler la grande entreprise de la construction des murs de quai de l'Escaut, à laquelle les noms de MM. Couvreux et Hersent resteront toujours attachés. Cette grande opération, dont la dépense s'est élevée aux environs de 44 millions de francs, a été terminée en 1884, et elle a été l'origine de la fortune du port d'Anvers.

Depuis cette époque, l'État belge et la ville d'Anvers ont entrepris les opérations suivantes :

Sur l'Escaut : prolongement des murs de quais de l'Escaut vers le sud, sur une longueur de 2 000 m. Ce travail a été terminé en 1902, reçu en 1903. La dépense en a été de 16 millions en chiffres ronds ;

Construction et équipement, sur le terre-plein de ce quai, d'un hangar de 60 m de largeur sur 1 280 m de longueur.

De nouvelles installations pour le pétrole et l'huile, comportant l'aménagement de 30 ha de polders et un appontement de 330 m sur l'Escaut.

Ces travaux datent de 1904.

Il convient de citer encore les dragages faits sur l'Escaut depuis l'année 1895 pour assurer la continuité du chenal d'accès au port d'Anvers.

Dans les bassins : les bassins Lefèvre (Africa) et America, construits de 1883 à 1886, marquaient, avec la construction des premiers quais de l'Escaut, la fin d'une première étape. Dès cette époque, la ville d'Anvers, prévoyant l'extension de ces installations, avait ménagé, dans les quais du bassin Lefèvre, l'amorce du chenal d'accès à de nouveaux bassins. Elle l'avait placée en face d'une écluse projetée qui devait relier le bassin Lefèvre directement à l'Escaut.

En 1893, on commençait la construction de l'écluse qui devait permettre aux navires calant 8,50 m de pénétrer de l'Escaut dans le bassin.

Cette écluse comprenait trois têtes fondées sur pilotis reliés par un radier en forme de voûte renversée. Mais la construction de cet ouvrage fût arrêtée en 1894 par un accident. Des sources de fond qu'on n'a pas pu maîtriser étant survenues, l'eau du bassin a brusquement fait irruption et envahi complètement les fouilles. Comme à cette époque avait surgi la question de la rectification du cours de l'Escaut en aval d'Anvers, les travaux de l'écluse ne furent pas repris immédiatement, afin de ne pas entraver l'exécution éventuelle des projets préconisés à cette époque.

Mais, par suite de l'accroissement du tonnage du port, la Ville décida de passer outre et de creuser deux grands bassins nouveaux, dont les travaux furent exécutés de 1903 à 1907. Ces bassins, qui ont reçu le nom de bassins intercalaires, présentent une superficie d'eau de 28 ha, un développement de quai de 3 000 m et 70 ha de terre-plein.

La ville d'Anvers a, en outre, réalisé l'exécution de la nouvelle écluse sur un plan modifié, et les travaux adjugés en 1904 sont, à la veille d'être mis en service. Cette opération a exigé une dépense de plus de 7 millions. A l'heure actuelle, la ville d'Anvers poursuit l'outillage des nouveaux bassins. Elle est occupée à la construction de hangars sur les terre-pleins des bassins intercalaires.

Elle poursuit en même temps l'exécution d'une nouvelle série de grues qui seront mues à l'électricité. Mais, sans attendre que l'aménagement de ces nouveaux bassins soit terminé, la ville et l'État poursuivent le développement des installations. L'État belge vient de mettre en adjudication des travaux de creusement de deux nouvelles darses à la suite des bassins intercalaires, qui présenteront une surface d'eau de 66 ha et un développement de quais de 5 km. Ces travaux ont été évalués à la somme de 17 millions.

Enfin, la ville d'Anvers, pour compléter ces installations maritimes, vient de faire dresser le projet d'une grande forme de radoub sur laquelle nous reviendrons plus loin et dont l'importance est d'environ 5 millions de francs.

La description détaillée des ouvrages a été donnée dans les notes très substantielles publiées par les Ingénieurs belges dans les Annales des Travaux Publics de Belgique. Il est facile de les y retrouver : les points les plus délicats de l'exécution des ouvrages principaux et quelques mots des ouvrages projetés présentent seuls un intérêt de nouveauté.

Les murs de quai de l'Escaut.

Les murs de quai de l'Escaut ont fait l'objet d'une adjudication à laquelle ont pris part onze firmes de diverses nationalités.

Le cahier des charges définissait les ouvrages, mais non le mode d'exécution pour lequel les concurrents pouvaient présenter des projets différents. En réalité, le nombre de projets fut de trente et les types de murs et de fondation très variés.

MM. Hersent et fils, qui furent déclarés adjudicataires, avaient présenté, outre le type de murs pleins qui fut définitivement adopté, des types de murs sur arcades analogues à ceux du quai de Lisbonne et de Bordeaux, également exécutés par eux.

Après examen, les Ingénieurs de l'État belge préférèrent le type de mur plein, mais en modifiant l'empattement de la base, qui fut porté de 8,70 à 9,50 m par l'élargissement du côté du large, du caisson de fondation *(fig. 1 et 2)*.

L'ensemble de l'ouvrage comprenait soixante-quatre éléments

Fig. 1.

Profil construit en 1884

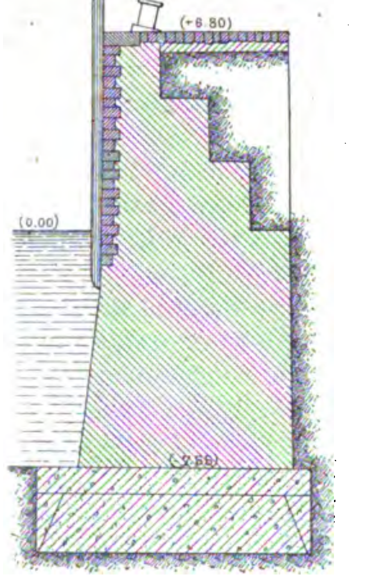
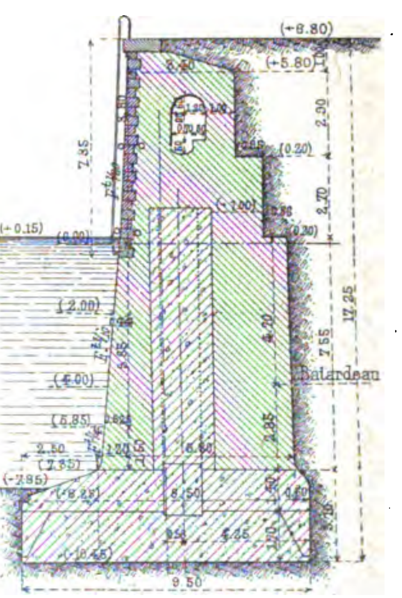


Fig. 2.

Profil en exécution 1898



courants de 30 m de longueur fondés sur autant de caissons foncés à l'air comprimé, et cinq éléments spéciaux destinés à l'enclave d'un embarcadère et au mur de retour à l'amont des quais.

Le sol de fondation était une couche d'argile très régulière sous tout le sol de la région, argile dite de Boom, compacte, capable de supporter, quand elle est sèche, une pression verticale de plus de 8 kg sans déformation, mais devenant, comme toutes les argiles, molle et glissante au contact de l'air et de l'eau.

L'exécution des travaux fut conduite avec une régularité et

une méthode qui font le plus grand honneur aux adjudicataires, sans d'ailleurs surprendre de leur part.

Un matériel spécial avait été étudié en vue de ces travaux.

Il comprenait, indépendamment des caissons, hausses mobiles, cheminées, sas à air, qui sont le matériel courant des travaux à l'air comprimé, des batardeaux mobiles et des échafaudages flottants.

Avant de parler de ce matériel, il convient d'indiquer la marche suivie pour l'exécution d'un tronçon de mur jusqu'à la cote (+ 1 m).

On commence par draguer à la cote — 7,85 m l'emplacement des tronçons de murs, et on amène à proximité le caisson garni de ses hausses mobiles que l'on maintient avec quatre ancres mouillées en rivière. Le caisson plonge ainsi de 2 m environ sous l'eau. On le leste d'une première couche de béton de 0,27 m coulée uniformément sur toute la surface du plafond, le caisson immerge alors de 2,60 m.

Dans la phase suivante, on bétonne au-dessus du plafond en constituant une muraille tout autour des parois verticales des caissons, on commence également les maçonneries en briques. Le travail est conduit de manière que le centre de gravité et le centre des poussées se trouvent sur la même verticale sans déversement du caisson. Lorsque les hausses supérieures ne dépassent plus le niveau de l'eau que de 0,80 m, on arrête les maçonneries et on glisse le caisson ainsi lesté sous l'échafaudage flottant, pour recevoir le batardeau mobile.

Lorsque le caisson est engagé sous l'échafaudage flottant, on garnit le rebord de la dernière hausse mobile d'une corde suiffée et, au moyen des palans de l'échafaudage flottant, on descend le batardeau mobile sur le caisson.

Une fois qu'il y est fixé, on reprend la maçonnerie jusqu'au moment où le caisson commence à toucher le fond à marée basse. A partir de ce moment, on accélère le lestage et on amène le caisson à son emplacement exact. Cette phase prend fin quand le caisson n'est plus soulevé aux plus fortes marées.

Alors commence une nouvelle phase. On envoie l'air comprimé dans la chambre de travail et on déblaie au-dessous du caisson. Le travail est poursuivi sans interruption jour et nuit jusqu'à la fin du remplissage de la chambre de travail.

Matériel spécial.

Le batardeau mobile — on en a employé deux pour le fonçage des soixante-quatre caissons — est une grande caisse rectangulaire sans fond, ayant 29,30 m de longueur, 7 m de largeur et une hauteur à peu près égale. Cette caisse est fermée en haut et elle est surmontée de cheminées de 3,35 m de hauteur *(fig. 1, Pl. 171)*.

Cette boîte vient s'assembler au bas avec le rebord des hausses mobiles du caisson sur lequel elle repose, ainsi qu'il a été dit plus haut, par l'intermédiaire d'une corde plate suiffée pour assurer l'étanchéité du joint.

A la partie inférieure règne une galerie étanche dite chambre de déboulonnage, où l'on peut accéder par des cheminées et que l'on peut mettre à sec en y insufflant de l'air comprimé. Cette chambre permet de défaire le joint lorsque le batardeau peut être supprimé.

Le batardéau porte dans ses parois verticales des ouvertures nombreuses permettant d'y accéder latéralement pendant l'enfoncement du caisson. Ces ouvertures peuvent être fermées d'une manière étanche.

La fermeture du batardeau à la partie supérieure a pour objet de réduire le volume de la tranche qui est alternativement immergée ou émergée au jeu des marées à partir du moment où le caisson échoue à marée basse et, par suite, la durée de période de soulèvement du caisson.

Les faces longitudinales du batardeau portent des anneaux d'attache au nombre de six par chaque face. Ces attaches permettent de le relier au moyen de palans à l'échafaudage flottant.

Échafaudage flottant.

Celui-ci est composé essentiellement de deux chalands de 32 m de longueur, 5,50 m de largeur, 2,50 m de creux *(fig. 2, Pl. 171)*.

Ces chalands portent une charpente métallique s'élevant à 7,60 m en dehors du pont comprenant six fermes principales ou

portiques, sous lequel est engagé le batardeau mobile que l'on peut ainsi élever ou descendre, monter et démonter. Cet échafaudage comprend des planchers de service et porte, logé dans les chalands, une machinerie destinée à comprimer l'air, à malaxer le mortier, à soulever les batardeaux et dans le détail de laquelle il serait trop long d'entrer.

Une fois la chambre de travail remplie et les maçonneries arasées à la cote + 1 m, le travail peut être achevé à la marée et on détache le batardeau mobile au moyen de la chambre de déboulonnage (*fig. 3, Pl. 171*).

Le batardeau détaché est relevé avec les palans et l'échafaudage flottant peut être amené au-dessus d'un nouveau tronçon de mur.

Il reste à enlever les hansses mobiles et à effectuer les joints entre les tronçons successifs. Ce dernier travail est effectué grâce à l'emploi de panneaux mobiles appliqués sur les parements des tronçons construits. On constitue ainsi de petites enceintes que l'on nettoie au moyen d'éjecteurs à air comprimé et que l'on remplit de béton coulé sous l'eau avec des bennes spécialement aménagées pour pénétrer jusqu'au fond de l'enceinte.

La durée de la construction d'un tronçon de mur a varié selon les circonstances. Cette durée a été de 72 jours pour le caisson n° 1, de 40 pour le caisson n° 64. On relève des durées de 35 jours.

En prenant les chiffres les plus réduits pour chacune des opérations successives, on arriverait à une durée minimum de 7 + 8 + 11 + 3 + 4, soit 33 jours.

Importance du matériel et des ouvrages.

Chaque échafaudage flottant comportait quatre machines représentant ensemble 112 ch, soit pour les deux échafaudages 240 H. P.; quatre dragues, dont deux à godets, une à succion et une Pristman, représentent ensemble 310 H. P. ;

Trois appareils de déchargement pour les déblais, dont un fixe, un flottant et un roulant, 126 H. P. Enfin quatre remorqueurs, 385 H. P.

Soit en tout, pour l'entreprise, plus de 1 000 H. P.

Dans les quantités de matériaux employés, nous relevons :

8 350 t de chaux hydraulique de Tournai;
5 000 t de trass;
35 500 t de ciment;
118 millions de briques;
110 000 m³ de gravier;
Plus de 100 000 t de moellons;
104 000 m³ de fascinages;
Enfin 6 230 t de fer,

c'est-à-dire à peu près le tonnage du pont Alexandre.

Les travaux ont été commencés sur ordre notifié le 24 septembre 1897; le premier caisson a été amené en place le 31 mai 1898; les travaux à l'air comprimé du caisson n° 64 achevés le 2 août 1901.

Les travaux devaient être terminés, d'après le cahier des charges, trois ans après la date du 24 septembre 1897.

S'il n'en a pas été ainsi, c'est qu'en cours de travaux se sont produits divers incidents qui en ont modifié singulièrement l'importance et dont l'histoire est très suggestive.

Difficultés rencontrées.

Malgré les précautions prises par les ingénieurs de l'État belge qui avaient fixé à un taux très modéré la pression limite à admettre sur l'argile de Boom 3,00 + 0,22 h. et le coefficient de glissement des maçonneries sur l'argile, 0,30, malgré l'obligation imposée aux entrepreneurs d'élargir la base du caisson de fondation de 8,70 à 9,50 m, la construction du mur du quai a été marquée par des incidents qui méritent de retenir l'attention des ingénieurs.

Le premier eut lieu le 5 mai 1899 au moment d'une marée très particulièrement basse.

Le mur de quai était complètement terminé sur 208 m le terre-plein achevé sur 110 m. Le remblai avait été fait en grande partie avec des décombres de bonne nature amenés de la ville, et la partie restante avec du sable fin pris dans l'Escaut par une drague à succion et refoulé, mélangé d'eau, derrière le mur. Sous le niveau de marée, le remblai contenait une proportion assez importante de vase déposée par la rivière; à la

marée basse, une partie de mur de 237,50 m se déplaça comme si elle avait été constituée de deux monolithes : le premier comprenant un caisson de l'ancien mur et trois du nouveau, le second quatre caissons du nouveau mur. Au point de contact des deux monolithes existait une lézarde; le déplacement total qui s'était accentué à la marée suivante avait une amplitude de 1,27 m au niveau des caissons et de 1,683 m au niveau du couronnement.

Le mur avait donc à la fois glissé en avant et légèrement pivoté autour de l'arête antérieure du massif de fondation; naturellement le sol de fondation s'était boursouflé en avant du mur au droit de la partie déplacée.

A la suite de cet incident qui mettait en évidence le défaut d'accord entre la réalité et les hypothèses faites dans les calculs de stabilité, les Ingénieurs belges conclurent qu'il conviendrait en pareille occurrence, en premier lieu de descendre les fondations aussi profondément que possible, afin de créer devant le mur une importante butée de terre; en second lieu, d'adopter comme assiette de fondation un plan en contrepente, en vue de réduire la composante de la résultante des forces sollicitant le mur au glissement, enfin de constituer le remblai derrière le mur de manière à ramener à un minimum la valeur de la poussée.

Des travaux de consolidation furent décidés. Mais, comme on ne pouvait songer à modifier l'enracinement du mur, dont les caissons étaient ou en fonçage ou montés, sans de très grandes pertes de temps et sans de très grosses dépenses, l'outillage de l'entreprise ayant été organisé en vue d'un type déterminé de caisson, on se contenta de descendre des fouilles de 1,20 m en dessous du niveau du contenu des caissons, avec une sole en contrepente, et de charger le fond du lit en avant des caissons avec des mattes de plomb (scories provenant des usines métallurgiques des environs). L'effort principal porta sur la constitution des remblais en arrière du mur. Ce remblai fut constitué par une couche d'enrochement sur 1,50 m de hauteur, puis par des plates-formes de fascinages jusqu'au niveau des basses mers. Au-dessus de ce niveau on établit un aqueduc drain en béton comprimé sur la retraite du mur et une chemise d'enrochement, puis un massif de gravier et de sable dans toute la zone qui paraissait pouvoir déterminer une poussée sur le mur.

Toutes les précautions paraissaient ainsi prises pour prévenir

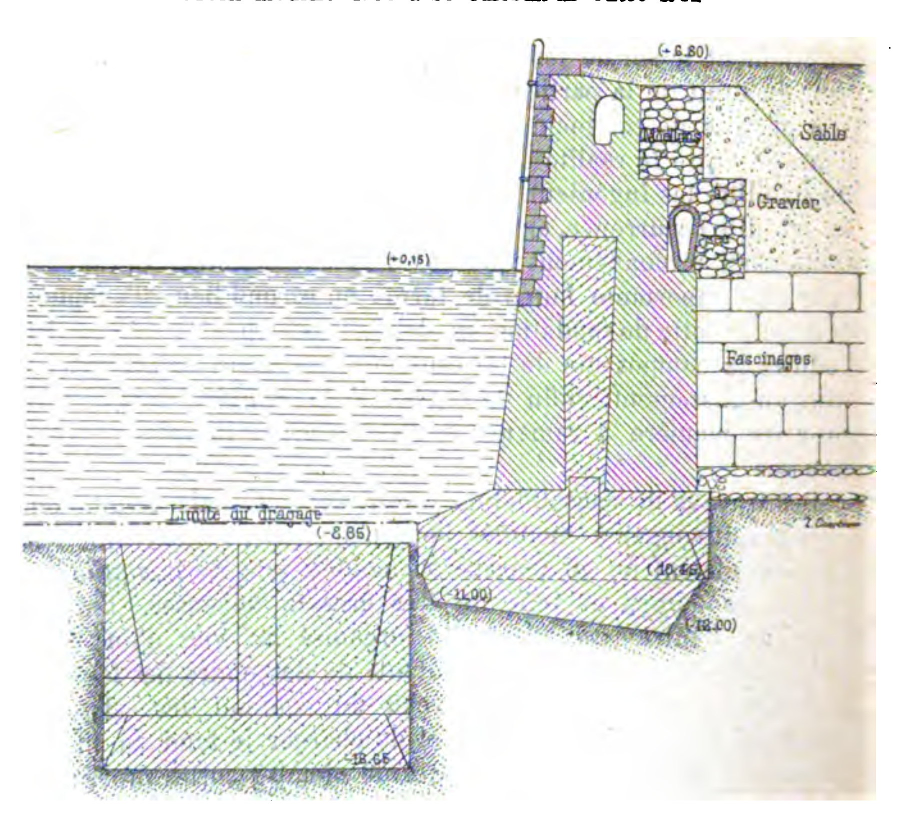


tout nouveau mouvement, les travaux furent achevés, les terre-pleins équipés et livrés à l'exploitation *(fig. 3)*.

Un nouveau mouvement s'est néanmoins produit au cours de l'année 1905, accusant dans la partie la moins enracinée dans l'argile, caissons 55 à 61, un avancement de 0,42 m.

Fig. 3.

Profil modifié 1900 avec caisson de butée 1907



Les Ingénieurs ont constaté que, malgré les précautions prises, le remblai en arrière du mur était détrempé, que le niveau de l'eau derrière le mur suivait les oscillations des marées avec une amplitude presque égale et que d'ailleurs le courant de la rivière avait une tendance à creuser le lit en avant du mur.

Leurs efforts ont alors porté sur deux points : ils ont établi un meilleur régime d'écoulement des eaux en arrière du mur et assuré le bon fonctionnement des appareils empêchant le re-

tour des eaux à la marée. Mais comme ils ne s'illusionnaient pas sur l'efficacité des moyens employés et que, d'autre part, ils ne comptent guère sur le frottement du mur sur sa base, ils ont pris le parti héroïque de buter le mur au moyen d'une série de massifs fondés à l'air comprimé en avant des caissons et enracinés de 8 m dans l'argile (1).

Six caissons de 10 m sur 8 de section et 8 m de hauteur sont enfoncés ou en cours de fonçage au droit de la partie qui a été mise en mouvement en 1905.

Ce travail de consolidation doit être étendu à diverses autres parties du mur : une fois exécuté il permettra en effet de nettoyer le lit de la rivière jusqu'à la cote — 8,65 sans craindre pour la stabilité du mur et d'offrir aux navires un meilleur mouillage.

Ces accidents ont mis en relief une fois de plus la délicatesse des travaux fondés sur l'argile. Les Ingénieurs étaient très prévenus en ce qui touche la limitation de la charge verticale : certains accidents devenus classiques, comme l'enfoncement du pont de l'Alma, d'autres plus récents, comme les tassements dans la percée du souterrain de Passy, ouvrages établis dans l'argile plastique sont bien connus des Ingénieurs de ce pays-ci, et les Ingénieurs d'Anvers avaient très prudemment limité les pressions sur le sol de fondation à un chiffre ne dépassant pas beaucoup 3 kg. Ils se sont assurés en cours de travaux de la résistance du sol à une pression verticale qu'ils ont trouvée voisine de 8 kg par centimètre carré.

Les mouvements des murs du quai d'Anvers ont démontré la prudence extrême avec laquelle il convenait d'évaluer la résistance au glissement. Ils ont fait voir que, dans le cas d'un ouvrage soumis à des pressions horizontales incessamment variables et par suite subissant par le simple jeu de l'élasticité des mouvements excessivement faibles mais répétés, la résistance au glissement était pratiquement nulle et qu'il ne fallait compter que sur une butée franche pour assurer la stabilité des ouvrages.

A notre avis ils donnent raison à ceux qui préfèrent, dans des murs de quai, réduire au minimum l'influence de la poussée, en réduisant, dans la mesure où on peut le faire, le rôle des mas-

(1) Les Ingénieurs belges ont préalablement tenté d'enfoncer en avant des murs des pieux métalliques pour obtenir cette butée. Mais ils n'ont pas obtenu de bons résultats et ont renoncé à ce procédé.

sifs de fondation à celui de supports de charge verticale et en laissant entre eux des intervalles aussi considérables que possible.

Les terrains des berges peuvent ainsi s'imprégner d'eau ou s'assécher et même se déformer librement sous l'influence du jeu des marées, sans modification sensible des conditions de stabilité des supports dont le rôle est essentiellement de maintenir une plate-forme de niveau constant au droit des installations destinées à la manutention des marchandises.

Bassins intercalaires.

Les travaux de creusement des bassins intercalaires représentent une opération considérable, car il a été nécessaire, Anvers étant une place forte, de déplacer l'enceinte fortifiée sur plus de 2 km.

Les travaux de fondation des ouvrages présentaient d'ailleurs par eux-mêmes certains dangers, des communications s'établis-

Fig. 4.

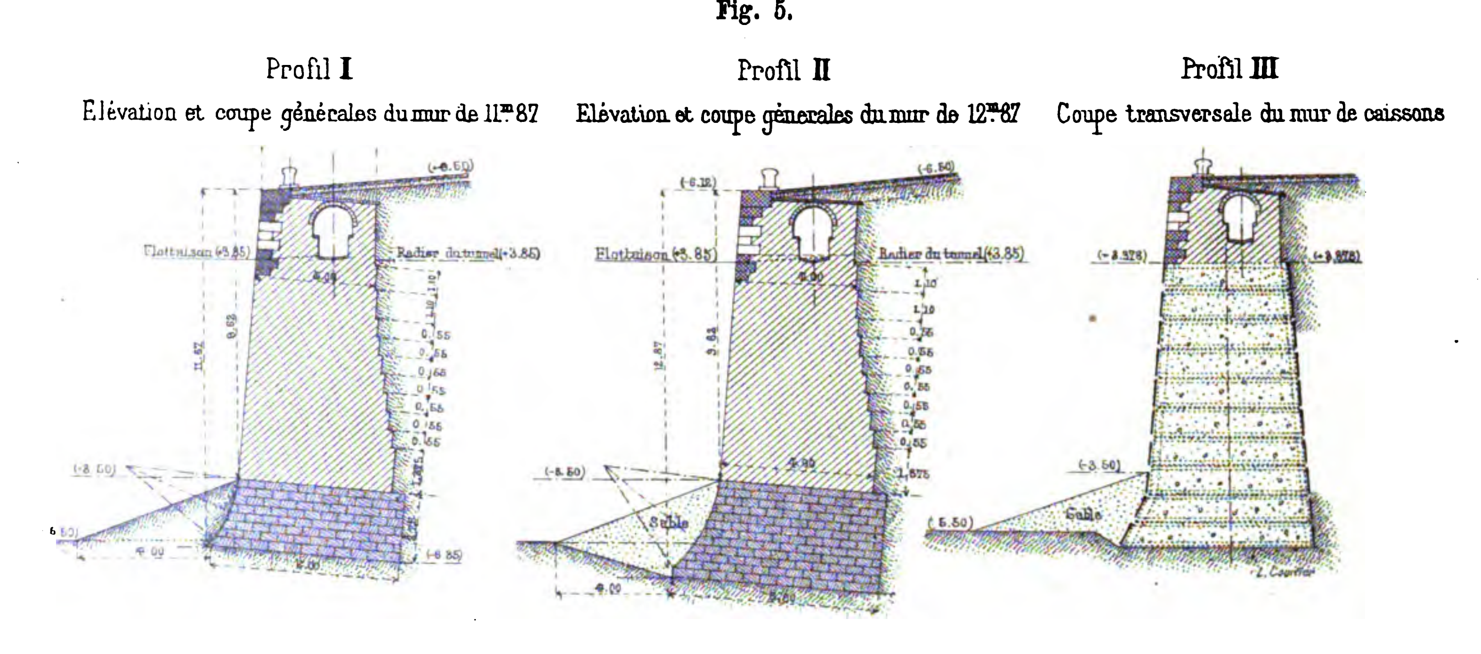
Coupe longitudinale des caissons de 14m138
(20 pièces semblables)

Coupe

sant quelquefois entre les fouilles et les bassins en service ou les fossés.

Pour éviter le retour d'accidents de cette nature survenus pendant la construction des bassins America et Lefebvre, accidents qui avaient fait renoncer pendant dix ans à la construction d'une écluse reliant directement ce bassin à l'Escaut, les Ingénieurs belges ont suivi un programme d'exécution très prudent.

On a exécuté à sec, dans des fouilles, une partie seulement


Fig. 5.
Profil I
Élévation et coupe générales du mur de 11m.87
Profil II
Élévation et coupe générales du mur de 12m.87
Profil III
Coupe transversale du mur de caissons
Flottaison (+3.85)
Radier du tunnel (+3.85)
Sable
(-8.50)
(-6.50)
(-6.12)
11.87
12.87
9.62
4.00
5.00
1.10
0.55
1.875
(-3.50)
(5.50)
L. Courtier

des murs de quai des bassins intercalaires, et on a commencé par ce travail avant d'attaquer le déblai des bassins; l'autre partie des murs de quai a été fondée au moyen de caissons métalliques dans lesquels on est venu couler du béton. Les murs de quai ont été descendus à une profondeur différente dans l'un et l'autre bassin; les murs du grand bassin ont été descendus 1 m plus bas que ceux du petit, de manière à permettre l'approfondissement ultérieur de ce bassin à 10 m au-dessous du plan d'eau. Les travaux ont été adjugés à MM. Bolsée, Hargot et Ackermans pour 7 500 000 f *(fig. 4 et 5)*.

Écluse.

En ce qui touche l'écluse et le canal de jonction du bassin Lefebvre à l'Escaut, l'exécution des travaux a été décidée à l'air comprimé pour les massifs des têtes, le radier de l'écluse et les murs de quai à l'aval. Les murs de quai à l'amont ont été exécutés au moyen de caissons non foncés.

Les travaux ont fait l'objet d'un concours sur programme, à la suite duquel MM. Coiseau et Cousin furent déclarés adjudicataires. Le montant de leur soumission s'élevait à une somme de 6 700 000 f et le délai d'exécution demandé à mille jours.

A la suite de quelques modifications demandées par l'Administration, augmentation de l'épaisseur du radier à 2 m et du débouché des aqueducs larrons, le montant des travaux fut augmenté d'environ 500 000 f. L'ordre de commencer les travaux fut donné le 1er mai 1904.

Les travaux à exécuter comprenaient, outre la démolition de certains ouvrages et la déviation d'un collecteur dit collecteur de Schyn, la construction de l'écluse de 180 m de longueur utile de 22 m de largeur avec radier arasé à la cote — 6,50m (cote normale des bassins + 3,60 m).

L'écluse comporte trois têtes munies chacune de portes roulantes identiques permettant de sectionner le sas en deux parties présentant respectivement 74,80 m et 102,50 m de longueur utile. La tête aval est pourvue d'un tablier métallique pouvant donner passage à une voie charretière de 5,20 m avec trottoir de 1,40 m et éventuellement à une voie ferrée praticable à des locomotives de 75 t.

Chacune des têtes de l'écluse a été établie au moyen d'un

caisson unique de 71 m de longueur sur 21,70 m de large. Ces caissons ont été simplement échoués dans des fouilles préalablement draguées à profondeur. Le radier de l'écluse a été fait au moyen d'une cloche ainsi que les fondations des bajoyers.

Ces travaux, dont l'importance peut se comparer seulement aux grandes fondations des formes de Missiessy à Toulon, n'ont aucune histoire. C'est le plus grand éloge qu'on puisse faire de ceux qui les ont entrepris.

Les portes de l'écluse sont absolument identiques, à quelques détails près, aux portes que MM. Coiseau et Cousin ont employées dans les travaux de Zeebruges et qui ont fait l'objet devant vous d'une communication antérieure.

La principale difficulté de ces travaux a consisté dans la nécessité de les exécuter dans des espaces très exigus et dans un délai très court. M. Coiseau se propose de donner aux Ingénieurs civils une description détaillée de ses très belles installations aussitôt que l'écluse Royers aura été inaugurée officiellement.

Nouveaux hangars.

Les travaux en cours d'exécution à l'heure actuelle, c'est-à-dire les hangars, le long des bassins intercalaires, n'offrent pas de particularités saillantes. Le type adopté est le même que celui qui a été employé sur les quais sud de l'Escaut, légèrement amélioré. Ces hangars sont d'un type relativement économique, car leur dépense ne dépasse pas 28 f au mètre carré. Les fermes sont établies de telle manière qu'on peut déplacer à volonté les supports verticaux et qu'ainsi il est loisible, à toute époque, de modifier le tracé des voies ferrées qui passent sous le hangar.

Forme de radoub.

Le projet de la forme de radoub est à l'heure actuelle soumis au Conseil communal d'Anvers, et il serait indiscret de donner autre chose que des renseignements extrêmement sommaires.

Les travaux devront prendre cours l'année prochaine vers le mois de mars et être terminés en 1911.

Primitivement, cette forme de radoub devait être établie dans les nouvelles darses; mais, comme ces darses ne doivent être

achevées que vers 1913 ou 1914, la ville d'Anvers a pensé qu'elle ne pouvait pas attendre cette époque pour donner aux navires qui fréquentent son port toutes les facilités dont ils ont besoin, et elle a décidé d'établir cette nouvelle forme avec débouché sur le quai est du bassin Lefebvre.

La forme aura 220 m de longueur utile, 27 m d'ouverture, 11,30 m de profondeur et 8,80 m de hauteur d'eau. Le radier en béton aura une épaisseur de 4,50 m. L'obturation de la forme sera faite au moyen d'un bateau-porte, portant un pont pour double voie ferrée et chaussée carrossable. L'établissement des machines d'épuisement et du bâtiment des machines n'est pas compris dans le projet. Il y aura là encore une dépense qui ne sera pas inférieure à un demi-million.

Les Ingénieurs de la Ville d'Anvers ont prévu l'exécution de la fondation à l'aide de l'air comprimé. Néanmoins il sera loisible aux entrepreneurs de proposer d'autres systèmes de fondation.

Lorsqu'on regarde d'ensemble tous les travaux que j'ai dû passer en revue si sommairement et qui représentent des dépenses de 55 millions pour l'étape actuellement en cours d'achèvement, de 40 au moins pour celle qui est entamée avec les nouvelles darses, deux sentiments se dégagent très nettement.

Le premier est un sentiment d'admiration pour la sage prévoyance avec laquelle nos voisins établissent leurs plans et les mettent à exécution progressivement, de manière à devancer les besoins de l'exploitation de leur port et à offrir aux navires des facilités toujours plus grandes.

Le second est un sentiment de fierté pour notre industrie nationale qui a si largement coopéré aux travaux du port d'Anvers. Nos grandes maisons d'entreprise ont réalisé à Anvers une des plus belles applications des procédés de fondation à l'air comprimé qui existe au monde : elles ont donné là comme à Zeebrugge la mesure de la puissance et de l'audace du génie civil français.

Ces exemples démontrent aussi la fécondité de la collaboration des Ingénieurs constructeurs avec les administrations.

Cette collaboration, lorsqu'elle est méthodiquement et loyalement appliquée, lorsque les Ingénieurs des services d'État et des Villes prennent soin de consulter et d'écouter l'expérience des grandes maisons de construction vient à bout de toutes les difficultés techniques.

Cette collaboration a, d'ailleurs, pour résultat certain un sentiment de grande considération, d'estime réciproque et de cordialité que nous considérons comme l'une des plus nobles joies d'une vie technique.

En terminant, nous tenons à adresser nos vifs remerciements aux personnes qui ont bien voulu nous prêter les matériaux documentaires et nous donner les renseignements qui nous ont permis de présenter la présente étude : MM. Zanen, Ingénieur principal des Ponts et chaussées à Anvers; A. de Winter, Ingénieur en chef des travaux maritimes de la Ville d'Anvers; Bourgeois, adjoint principal du Génie, qui nous a prêté une magnifique collection de clichés, enfin MM. Hersent et Coïseau et M. le baron Quinette de Rochemont, dont l'appui est si précieux auprès des Ingénieurs des travaux maritimes de tous pays.

VISITE AUX TRAVAUX

DU

CHEMIN DE FER DES ALPES BERNOISES [1]

PAR

M. A. MAURY

Nos Collègues, MM. Allard, Chagnaud, Coiseau, Couvreux, Dollfus et Wiriot, les entrepreneurs généraux du Chemin de fer des Alpes Bernoises, avaient invité, comme vous le savez, les membres de la Société à une visite de leurs travaux. Cette visite a eu lieu les 20 et 22 juillet dernier. Je vais en faire un compte rendu sommaire pour ceux de nos Collègues qui n'ont pas pu y prendre part.

Je n'ai pas, bien entendu, la prétention de vous décrire en détail les importants travaux que nous avons parcourus, parmi lesquels ceux du grand tunnel du Loetschberg; le temps limité dont je dispose ne me le permettrait pas et, d'ailleurs, les constructeurs sont nos Collègues : ils voudront naturellement vous exposer eux-mêmes les procédés mis en œuvre, vous décrire les appareils employés, vous montrer les résultats obtenus. Notre éminent ancien Président, M. Coiseau, nous a, de longue date, habitués à ces exposés qu'il a toujours su rendre si complets et si clairs. Mon but à moi est plus modeste et je me bornerai à vous donner un aperçu général de ce que nous avons vu dans une rapide visite.

Vous savez, Messieurs, que le Chemin de fer des Alpes Bernoises a été conçu pour permettre à Berne et aux contrées desservies par les lignes de chemin de fer qui y aboutissent de profiter de la traversée du Simplon, sans faire le tour du massif des Alpes Bernoises pour aller rejoindre, à Lausanne, la nouvelle ligne d'accès en Italie. Bien avant l'achèvement du tunnel du Simplon, le canton de Berne s'était préoccupé de s'assurer les moyens de profiter de cette percée des Alpes; de nombreuses

(1) Bulletin d'octobre 1908, page 556.

études ont été faites, des discussions ardentes se sont soulevées, bien des compétitions locales se sont naturellement livré bataille; mais on a fini par accepter les propositions du Syndicat d'études que nos Collègues avaient formé, et c'est ce Syndicat qui a été chargé de l'exécution des travaux.

A ce sujet, une remarque s'impose. Le canton de Berne et la Suisse ne sont pas seuls à pouvoir profiter de l'ouverture du Simplon : la France devrait, elle aussi, utiliser la nouvelle ligne pour se mettre en communication plus facile et plus rapide avec le nord de l'Italie; mais, pour que cette utilisation soit complète, il faudrait améliorer les lignes d'accès en Suisse, qui sont défectueuses. Depuis longtemps, cette nécessité est reconnue par tout le monde; seulement, lorsqu'il s'agit d'arriver à l'exécution, on n'est plus d'accord, chacun soutient le tracé qui donne satisfaction à ses intérêts particuliers, et de ce conflit d'influences locales il est résulté qu'à l'heure actuelle, alors que depuis deux ans le Simplon est ouvert à la circulation, on discute encore sur la solution à adopter. Il semble pourtant que peu importe au pays que tel ou tel tracé soit choisi; ce qui lui importe, c'est de profiter le plus rapidement possible des moyens de communication nouveaux qui lui sont ouverts. On a assez discuté, il serait temps d'aboutir.

En Suisse, on a discuté aussi, mais la décision a été plus prompte et les travaux ont été rapidement commencés. Ce sont ces travaux que je vais très sommairement vous décrire.

La ligne que l'on exécute en ce moment part de Frutigen, où elle se raccorde avec la petite ligne Spiez-Frutigen, qui lui sera incorporée plus tard, et la relie au Chemin de fer de Berne à Interlaken. De Frutigen, elle s'élève, par une pente de 27 0/00, dans la vallée de la Kander, jusqu'à Kandersteg, où elle entre, à la cote 1 200 m, dans le grand tunnel de Loetschberg, qui a 13,735 km de longueur. Elle en sort à Goppenstein, dans la gorge de Loetschen, où coule la Lonza, affluent du Rhône; elle suit cette gorge pendant 5 km et descend ensuite à flanc de montagne jusqu'à Brigue, où elle rejoint la ligne du Simplon à la cote 681 m, après un parcours total de 58,475 km, dont 20 km par la rampe nord et 25 km par la rampe sud.

C'est à Brigue que commençait notre visite. Nous y étions réunis le lundi 20 juillet, à 9 heures du matin, à l'entrée des chantiers de l'entreprise. Un train avait été préparé pour nous

recevoir sur la voie provisoire établie le long de cette rampe de 25 km, qui doit relier la station de Brigue à l'embouchure du tunnel de Loetschberg.

Une soixantaine d'entre nous avaient répondu à l'invitation de nos Collègues; quelques-uns prirent place dans la voiture fermée qui sert aux inspections de l'entreprise, mais la plupart s'installèrent sur des plate-formes de travaux garnies de banquettes pour la circonstance. Ceux-ci semblaient mieux partagés, parce qu'ils allaient plus complètement jouir du merveilleux panorama qui devait se dérouler devant nous au fur et à mesure que nous nous élèverions au-dessus de la vallée. Ils étaient d'ailleurs mieux placés aussi pour juger des difficultés qu'avait rencontrées l'établissement de cette voie provisoire et de celles encore plus grandes que doit entraîner la construction de la voie définitive. Malheureusement, le temps, qui était très menaçant à notre départ de Brigue, s'est rapidement gâté tout à fait et c'est sous une pluie persistante que nous avons fait la plus grande partie du trajet. Le pittoresque de l'excursion y a perdu, car toute la belle vue que nous devions admirer est restée cachée derrière un voile impénétrable; mais la pluie ne nous a pas empêchés de nous rendre compte du travail qu'il a fallu faire pour accrocher à la montagne cette voie de service, qui comporte des ouvrages plus importants que bien des voies définitives. Les pentes du terrain sont telles que, quoique la voie de 75 cm ait permis des courbes de 50 m de rayon, il a fallu presque partout recourir à des murs de soutènement très élevés. Le sol est, en outre, formé de roches éboulées, en équilibre instable, dont on met toute la masse en mouvement quand on en attaque le pied, ce qui a entraîné des travaux de consolidation nombreux et oblige à une surveillance constante.

La voie définitive, dont on voit le tracé, sera d'un établissement encore plus difficile, parce que les courbes de plus grand rayon qu'elle comporte ne lui permettront pas d'épouser aussi facilement les sinuosités du terrain et tantôt la rejetteront dans le vide, tantôt la forceront à mordre davantage dans le talus.

La voie provisoire elle-même que nous suivions a nécessité de nombreux tunnels pour couper les croupes trop accentuées et des ponts en charpente très hardis pour franchir les ravins. On a cherché autant que possible à faire coïncider son tracé avec celui de la voie définitive, afin de profiter du travail fait, surtout pour les tunnels, mais cela n'a pas été toujours possible; sur les 7 km

de tunnels que comporte la voie provisoire, 4 km seulement seront utilisés plus tard.

Si l'on songe que le tracé et l'exécution de cette voie ont dû être faits en dehors de tout chemin d'accès, au-dessus de précipices de plusieurs centaines de mètres de hauteur, on mesure l'effort et la dépense que cette exécution a entraînés. L'un et l'autre étaient cependant indispensables pour pouvoir accéder tout le long des travaux de la voie définitive et y apporter les matériaux de la construction, et aussi pour amener au grand tunnel les approvisionnements nécessaires d'une façon économique.

Des 25 km de voie provisoire qui doivent relier Brigue à Goppenstein, 20 km seulement étaient terminés lors de notre visite; le train qui nous conduisait s'arrêta à Hohten, au point où la ligne quitte la vallée du Rhône pour s'engager dans celle de la Lonza. Nous y débarquâmes quelque peu mouillés, mais néanmoins en belle humeur. On avait retrouvé des camarades, on avait invoqué des souvenirs de jeunesse, on avait repris la gaieté du bel âge et les jeunes qui étaient parmi nous avaient communiqué à tous leur entrain. D'ailleurs, nous avions été trop intéressés par ce que nous avions vu pour songer à maugréer contre l'inclémence du temps.

L'entreprise avait fait construire un hangar en charpente pour le déjeuner; elle avait choisi le point où la vue embrasse le panorama le plus étendu. On y domine le Rhône, de 400 m et l'on a devant soi, parait-il, les montagnes qui bordent la vallée et les sommets de la grande chaîne qui les surmonte. Malheureusement, en nous élevant, nous avions atteint l'altitude des nuages qui se déversaient sur nous depuis le départ et à la pluie, qui tombait de plus belle, s'était joint un brouillard intense qui limitait à quelques mètres le champ de notre horizon. Ce contretemps était fâcheux pour nous, puisqu'il nous empêchait de jouir d'une vue exceptionnelle, mais il était encore plus navrant pour nos Collègues de l'entreprise, qui s'étaient donné la peine de tout préparer pour nous recevoir dans un site magnifique.

Nous avons dû nous contenter de la description qui nous en était faite. Le déjeuner n'en a pas été moins cordial, ni moins gai, et notre appétit, aiguisé par l'air vif de la montagne, a fait honneur au menu distingué et copieux qui nous a été servi. Ce n'avait certes pas dû être une petite affaire que d'amener à une

pareille hauteur les provisions nécessaires et de préparer, aussi loin de toutes ressources, un repas de soixante couverts.

Au dessert, M. Coiseau nous a souhaité la bienvenue au nom de l'Entreprise (voir page 675). Il nous a montré les difficultés surmontées pour établir, en aussi peu de temps, la voie que nous venions de parcourir et pour créer à Goppenstein les installations de toute nature que nous allions visiter. Notre éminent Président, M. Reumaux a remercié nos Collègues au nom de la Société de l'accueil brillant qu'ils nous avaient ménagé (voir page 677).

Après le déjeuner, la plupart d'entre nous se sont mis en route pour parcourir à pied les 5 km qui nous séparaient du grand tunnel, pour lesquels la voie de service n'était pas encore terminée. La plus grande partie de ce trajet est à faire dans des tunnels, dont l'un a 1 370 m ; nous les avons traversés en plein travail et nous avons dû en escalader les parties non encore approfondies. Si ce parcours a été un peu fatigant, il a eu du moins l'avantage de nous montrer l'organisation des chantiers et aussi de nous abriter de la pluie acharnée qui tombait toujours. Les parties à ciel ouvert nous laissaient, d'ailleurs, la possibilité d'admirer, par instants, la belle gorge boisée que la ligne remonte depuis Hohten, au fond de laquelle serpente le chemin de Goppenstein, par lequel tout le matériel du grand tunnel a été conduit à pied d'œuvre.

A l'arrivée à Goppenstein, comme le temps dont nous disposions était très court, il ne nous fut possible que de jeter un rapide coup d'œil aux installations et nous pénétrâmes dans le tunnel après nous être munis de vêtements imperméables gracieusement mis à notre disposition par l'Entreprise.

Le tunnel de Loetschberg est attaqué par une galerie de base. C'est le seul procédé qui puisse convenir à un long tunnel. En effet, si, pour un tunnel de faible longueur, l'attaque de faîte peut avoir des avantages quand le terrain est mauvais et s'il y a, par conséquent, intérêt à soutenir immédiatement le sommet de la galerie, le doute n'est pas possible pour un long tunnel où l'on est exposé à trouver en abondance de l'eau dont il faut se débarrasser le plus tôt possible. La galerie d'avancement étant à la base, on peut y établir très rapidement la cunette d'écoulement définitive qui enlève toutes les eaux rencontrées.

Une autre raison conduit à préférer l'attaque de base. Dans

un grand tunnel, l'effort principal porte toujours sur la galerie d'avancement dont la rapidité de marche détermine celle de tout le chantier. Il n'est pas toujours possible de suivre cette marche avec les attaques d'arrière si elles sont uniques ; on est donc conduit à les multiplier, et ce n'est facile pour la plupart d'entre elles qu'avec la galerie de base. D'ailleurs, le cube transporté devant être considérable, pour une marche rapide, il y a un intérêt très grand à ne pas avoir à déplacer la voie de transport, ce qui n'est possible que si elle est mise, du premier coup, à sa place définitive, c'est-à-dire si la galerie d'avancement est à la base du tunnel.

L'Entreprise du Loetschberg ne pouvait méconnaître cette nécessité. Elle n'a malheureusement pas pu, par une circonstauce indépendante de sa volonté, profiter jusqu'ici entièrement des avantages qui résultent de la méthode de travail qu'elle a judicieusement choisie. Le tunnel était d'abord prévu à une seule voie, mais la Compagnie s'était réservé le droit de décider, pendant la première année de la construction, qu'il serait exécuté à deux voies. C'est ce qui a été résolu et c'est pour deux voies que le tunnel est construit ; mais il a fallu attendre cette décision pour commencer les travaux d'élargissement. Il en est résulté momentanément un allongement exagéré du chantier et l'envahissement des voies par les eaux qui sont abondantes. On les a rencontrées, en quantités assez grandes, sur plusieurs points, et c'est ce qui nécessite l'équipement protecteur que nous avions dù endosser.

Les travaux d'élargissement du tunnel sont maintenant attaqués en grand, ils se poursuivent comme d'ordinaire par l'ouverture, dans la galerie d'avancement, de cheminées verticales allant rejoindre le sommet du tunnel et d'où partent des galeries de faîte dans lesquelles se fait le travail des abatages. L'excavation complète vient ensuite et le revêtement en maçonnerie en dernier lieu.

La plupart de nos collègues se sont arrêtés à 700 m de l'embouchure où se trouvait, au moment de notre visite, le dernier chantier d'abatage ; cinq d'entre nous seulement ont poursuivi jusqu'à l'avancement, qui était ce jour-là à 2.200. Le vieux perceur de tunnel que je suis ne pouvait pas manquer d'être de ceux-là.

La petite galerie a 3 m de hauteur sur 2,20 m de largeur. Elle est attaquée par quatre perforatrices à air comprimé, montées

sur un affût horizontal. Ces machines percent un nombre variable de trous, suivant la dureté de la roche, une douzaine en général de 1,50 m de profondeur environ. On les charge avec de la dynamite gomme. L'avancement moyen est de 6 m par jour; il a été jusqu'à 9 m.

L'entreprise a donné à l'air comprimé la préférence sur l'eau comprimée employée au Simplon pour la mise en mouvement des perforatrices. Elle n'a eu qu'à s'en féliciter. L'air a sur l'eau le grand avantage de pouvoir être conduit facilement partout, de permettre, par conséquent, l'emploi des machines sur toutes les attaques et de réduire ainsi la main-d'œuvre, qui n'est pas toujours facile à réunir, ni commode à conduire.

Outre les attaques principales, qui se font au moyen d'affûts, l'Entreprise emploie des perforatrices isolées montées sur trépied et aussi un grand nombre de marteaux à main à air comprimé qui permettent de faire partout les coups de mine nécessaires. Ces petits appareils sont certainement appelés à se développer beaucoup à l'avenir; ils remplaceront la masse-couple et la massette avec une grosse économie de temps et de main-d'œuvre.

L'emploi de l'air comprimé a aussi permis à l'entreprise d'installer dans les tunnels des rampes d'accès, des petits compresseurs portatifs actionnant nne perforatrice montée sur trépied, et de faciliter ainsi le creusement de ces tunnels. Le transport électrique de la force rend partout ces installations possibles.

Quand nous sommes sortis du tunnel, nous n'avions plus que le temps de refaire rapidement le trajet parcouru pour y arriver et d'aller retrouver le train qui nous attendait à Hohten, sans nous arrêter aux installations extérieures si importantes et si intéressantes pourtant. Je ne vous en parlerai donc pas, mais je vous dirai quelques mots tout à l'heure de celles de la tête Nord que j'ai visitées et qui sont analogues.

En nous en retournant, nous avons pu cependant admirer le pittoresque des maisons ouvrières et des constructions diverses établies dans le fond de la vallée, autant que possible à l'abri des avalanches. On ne peut oublier que c'est à Oppenstein qu'eut lieu, au début de l'année courante, le malheureux événement qui emporta le bureau de l'Entreprise et d'autres établissements, en faisant quelques victimes, auxquelles ceux qui visitent ce chantier ne peuvent s'empêcher d'envoyer un souvenir ému.

Remontés sur nos wagons plate-forme, nous refîmes en sens

inverse le chemin du matin sans voir grand'chose de plus comme paysage, mais en admirant de nouveau la construction hardie de cette ligne provisoire si bien établie, et qui a besoin de l'être, car tout déraillement vous jetterait dans le fond de la vallée.

A l'arrivée à Brigue, nous nous empressâmes de regagner l'hôtel. Nous avions hâte de remplacer par des vêtements secs ceux qui, depuis le matin, avaient reçu la pluie. Quelques instants après, nous étions réunis dans la salle à manger où le dîner offert par la Société à l'Entreprise avait été préparé. Tout le monde étant sec et reposé, le repas fut plein d'entrain et de gaieté. Au dessert, notre cher Président prit la parole pour remercier l'Entreprise de son accueil et la féliciter des magnifiques travaux qu'elle nous avait montrés et des résultats déjà obtenus (voir page 677). Après lui et en qualité de doyen des perceurs de tunnels, j'apportai à nos collègues le salut de leurs prédécesseurs et leur souhaitai bon courage et bonne chance (voir page 680). M. Chagnaud nous répondit au nom de l'Entreprise. Après nous avoir donné quelques explications sur les procédés d'exécution du grand tunnel, il nous rappela que la France était intéressée, elle aussi, au percement du Loetschberg et que, par conséquent, les entrepreneurs, s'ils travaillaient pour la Suisse et le canton de Berne, travaillaient aussi pour la France (voir page 682).

La journée du lendemain était consacrée au voyage de la tête Sud à la tête Nord. Nous sommes partis à 9 heures du matin de Brigue pour faire le long trajet que le chemin de fer en construction permettra d'éviter. Nous descendons d'abord le Rhône jusqu'au lac de Genève et, en route, nous jetons en passant un rapide coup d'œil sur les travaux importants que l'on exécute près de Sierre pour capter les eaux du fleuve et constituer une force motrice considérable; nous apercevons aussi la ligne de Martigny à Chamonix, qui venait d'être ouverte à la circulation. Nous suivons ensuite le lac jusqu'à Montreux, où nous nous arrêtons pour déjeuner.

A 2 heures nous repartons par le chemin électrique qui relie Montreux à Zweisimmen et de là au lac de Thoune. La ligne s'élève immédiatement au départ de Montreux par de grands lacets qui dominent le lac de Genève; au fur et à mesure que l'on monte, le panorama merveilleux que l'on a sous

les yeux s'étend davantage ; on aperçoit le lac si bien encadré par de hautes montagnes et, comme en projection horizontale, les villes de Territet, de Montreux et de Vevey et, autour de soi, cette admirable vallée verte et boisée qui monte aux Avants. On passe en tunnel sous la dent de Jaman, à la cote 1 100 m. De l'autre côté, le paysage change ; le lac a disparu, mais le parcours n'en est pas moins pittoresque à travers des pâturages riants ou des gorges profondes que dominent les hautes cimes voisines. On arrive ainsi à Zweisimmen, après quelques heures d'un voyage charmant et qui n'est pas gâté par la fumée des trains mus par la vapeur. Là, on prend une ligne déjà ancienne qui suit la belle vallée de la Simmen jusqu'à Spiez, sur le lac de Thoune, où nous arrivons à six heures et demie et où nous passons la nuit. Un temps assez beau avait heureusement favorisé pendant toute la journée cet intéressant voyage.

Le mercredi matin, nous partons de Spiez à sept heures et demie par la ligne de Spiez à Frutigen, qui existe depuis plusieurs années. Elle vient d'être rachetée par la Compagnie du chemin de fer des Alpes Bernoises, et sera exploitée plus tard électriquement comme tout le reste de la ligne.

A Frutigen commence la voie provisoire qui, de même que sur le versant Sud, a été construite pour accéder le plus économiquement possible au grand tunnel, en même temps que pour faciliter la construction de la rampe Nord de la voie définitive. Un train de service nous attendait, composé, comme celui de Brigue, d'un wagon fermé et de plusieurs wagons plate-forme munis de banquettes pour nous recevoir. Le temps était heureusement meilleur que l'avant-veille ; quoique encore assez couvert pour nous masquer les hautes montagnes qui forment le fond du tableau, il nous a permis cependant d'admirer la belle vallée de la Kander, que l'on remonte jusqu'à l'embouchure du tunnel.

La ligne provisoire est entièrement différente de celle de la rampe Sud. Au lieu de monter à flanc de montagne contre des pentes abruptes et ébouleuses, elle se tient constamment au fond de la vallée, au milieu des prairies et des sapins. Au bout d'une dizaine de kilomètres, on rencontre un ressaut que la voie définitive franchira par une double boucle, dont l'une des branches sera à ciel ouvert, l'autre constituée par un tunnel hélicoïdal. De nombreuses et difficiles études ont été nécessaires

pour arriver à tracer la ligne provisoire dans ce passage. On a réussi à trouver une solution très élégante qui comporte deux lacets dans les rochers et les sapins et une série de grands ponts en charpente, à la fois en pente et en courbe, d'une pittoresque hardiesse.

En un point de ce parcours, nous nous arrêtons pour aller faire au lac Bleu une excursion que l'Entreprise nous avait préparée. Après une promenade à pied de quelques centaines de mètres au milieu des sapins, nous arrivons au bord d'un merveilleux petit lac encadré de grands arbres et de rochers et dont la couleur justifie bien réellement le nom. Par petits groupes, nous le parcourons sur les deux bateaux mis à notre disposition et nous admirons son eau claire à travers laquelle on aperçoit des arbres renversés dont le tronc est couvert d'une substance grisâtre qui paraît être une concrétion calcaire. Nous repartonsà travers un labyrinthe de rochers et nous rejoignons notre train qui continue son ascension. Le ressaut franchi, on se trouve de nouveau au fond de la vallée que l'on suit jusqu'à Kandersteg et de là à l'embouchure du tunnel.

C'est dans le voisinage de l'embouchure que sont groupées les installations de la tête Nord. Nous avons pu les visiter en détail. Elles se composent, au point de vue de la force motrice, de deux compresseurs comprimant l'air à 10 kg pour la perforation mécanique et de deux autres le comprimant à 120 kg pour l'alimentation des locomotives à air comprimé. Les premiers sont d'une puissance de 400 ch chacun et font la compression en deux phases; les seconds sont de 250 ch et à cinq phases. Ces machines, ainsi que toutes celles qui fonctionnent dans ces installations, sont mues par l'électricité. La Compagnie a pris l'engagement de fournir à l'entreprise une force de 2500 ch à chaque tête, force suffisante pour assurer en tout temps la perforation mécanique, même appliquée sur une très large échelle, et la traction des déblais et des matériaux de construction à l'intérieur du tunnel et à l'extérieur. Des locomotives à air comprimé fonctionnant sous 120 kg de pression ont été spécialement étudiées pour ce service.

Cette installation de force motrice est complétée par de grands ateliers de réparation, des forges, scieries, etc.

A l'embouchure du tunnel, uneconstruction spécialeest destinée à abriter les ouvriers à leur entrée et à leur sortie. Ils ont chacun une cabine pour changer de vêtement et une suspension

à laquelle sont fixés leurs habits ordinaires quand ils sont dans le tunnel et leur équipement de tunnel quand ils sont dehors. Des salles de bains et de douches complètent cette installation qui ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'hygiène. Ellè permet aux ouvriers d'affronter sans danger les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du tunnel.

Des hôpitaux bien aménagés et bien tenus sont prêts à recevoir les malades et les blessés, et prouvent encore la sollicitude dont l'Entreprise entoure son personnel. De nombreuses maisons ouvrières, les unes pour ménages, les autres pour célibataires complètent ces diverses installations auxquelles viennent s'ajouter les constructions que les fournisseurs de toute sorte établissent toujours au voisinage d'un grand chantier.

Le déjeuner offert par l'entreprise réunit encore une fois tout le monde autour d'une table bien servie à l'hôtel de la Gemmi. Au dessert, M. Couvreux, après avoir rappelé le but poursuivi par l'exécution du chemin de fer des Alpes Bernoises, les concours qui ont permis la constitution de la Compagnie, après avoir adressé au personnel de l'Entreprise les éloges et les remerciements qu'il mérite, salue les Ingénieurs civils et les remercie de leur visite (voir page 684).

Après lui, M. le Professeur Golliëz, Administrateur de la Compagnie, dans un langage brillant et élevé, commence par féliciter l'entreprise de l'habileté et de l'énergie avec lesquelles elle a conçu et mis en œuvre des travaux aussi considérables. Il reconnait qu'il a fallu la confiance qu'elle inspire pour recueillir les capitaux nécessaires; il dit qu'une bonne partie de ces capitaux ont été réunis en France et il ajoute finement que nous prodiguons au monde entier notre argent pour tous ses travaux et que nous pourrions peut-être en garder un peu pour les nôtres. Il termine en saluant, au nom de la Compagnie, la Société des Ingénieurs civils de France, qui représente la liberté de chacun, la concurrence de tous sans protection officielle. Il porte enfin un double toast à notre Société et à notre pays. Ce beau discours soulève les applaudissements de tous nos Collègues (voir page 687).

M. le Président Reumaux, qui s'est prodigué pendant ces trois jours et a représenté la Société à ce voyage avec un dévouement et une distinction dont nous devons lui être tous reconnaissants, remercie une dernière fois l'entreprise au nom de la Société; il lui dit combien nous partons reconnaissants de son accueil et

émerveillés de tout ce que nous avons vu. Il félicite les entrepreneurs, parmi lesquels il est heureux de voir notre ancien Président M. Coiseau, qui a déjà attaché son nom à tant d'œuvres importantes. Et après avoir remercié M. le Professeur Golliez de ses paroles, il lève son verre à l'Entreprise et à tous ses collaborateurs, français et suisses (voir page 689).

Après le déjeuner, quelques-uns de nos Collègues ont encore le temps de visiter le tunnel, d'autres profitent du temps disponible pour achever la visite des installations extérieures.

Le retour s'est effectué par le train de l'Entreprise qui nous avait conduits et, à l'arrivée à Spiez, on s'est séparé, tous enchantés de cette belle excursion.

Je vous ai décrit rapidement, Messieurs, ce que nous avons vu au cours de notre voyage. Je ne veux pas terminer sans résumer, en quelques mots, l'impression que nous avons tous rapportée de cette visite des travaux du Chemin de fer des Alpes Bernoises, impression d'admiration pour un pareil travail exécuté en si peu de temps. Ces deux voies provisoires, établies en un peu plus d'une année au prix de difficultés exceptionnelles, ces magnifiques installations, les unes si bien étudiées au point de vue technique, les autres si bien comprises et si complètes pour la sécurité des ouvriers, leur bien-être et les soins à leur donner, les résultats enfin obtenus dans l'avancement de la petite galerie, dont plus d'un tiers était percé au moment de notre passage, tout cela forme un ensemble dont nous avons pu constater la belle harmonie.

Je suis bien certain de me faire l'interprète de tous ceux de nos Collègues qui ont participé à cette visite, en félicitant les constructeurs de l'œuvre accomplie et de la maîtrise avec laquelle elle a été conduite, et aussi en associant à nos félicitations leur personnel, et en particulier :

M. Zurcher, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur général des Travaux;

M. Guignard, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef des Travaux de la rampe Sud;

M. Rothpletz, Ingénieur, Chef des Travaux de la tête Nord;

Et nos collègues :

M. Potterat, Ingénieur du Polytechnicum de Zurich (des Ingénieurs civils), Chef des Travaux de la rampe Nord;

M. MOREAU, Ingénieur des Arts et Métiers (des Ingénieurs civils), Chef des Travaux de la tête Sud;

M. BOURDEL, Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef des Services Électriques et Mécaniques;

M. BENEYTON, Ingénieur des Arts et Métiers, adjoint à la Direction générale.

Je n'apprendrai à aucun de vous, Messieurs, que le surlendemain de notre passage à Kandersteg, un grave événement est venu troubler la marche de ce beau travail. Une irruption soudaine d'eau, de sable et de boue a rempli la galerie d'avancement de la section Nord du tunnel, en causant malheureusement la mort de vingt-cinq ouvriers. J'adresse, en notre nom à tous, nos plus sincères condoléances à nos Collègues, avec l'espérance que ce regrettable incident, s'il retarde pendant quelque temps la marche régulière de cette importante entreprise, n'aura cependant pas d'influence défavorable sur sa réussite finale, qui importe à tant d'intérêts et à laquelle travaillent avec entrain et dévouement tant d'hommes vaillants, qui accomplissent là-bas une tâche souvent ingrate et toujours difficile, et affrontent courageusement de redoutables imprévus.

DISCOURS

de M. L. COISEAU, ancien Président de la Société,

à la rampe Sud du chemin de fer des Alpes Bernoises.

Mon cher Président, mes chers Collègues,

Permettez-moi de vous souhaiter la bienvenue au nom de mes Associés, nos Collègues MM. Allard, Chagnaud, notre benjamin chargé plus spécialement de la conduite de l'entreprise, Couvreux, et au mien, en excusant nos Collègues Dollfus, dont la santé laisse à désirer, et Wiriot, retenu par les affaires. Nous saluons avec plaisir M. Andréa, Ingénieur de la Compagnie et M. le docteur Pornetta.

Nous vous recevons en famille et vous nous pardonnerez la rusticité de la salle à manger : notre désir avait été de vous faire admirer le magnifique panorama que présente d'ici la vallée du Rhône ; malheureusement le temps n'a pas favorisé votre visite.

Nous espérons, malgré cela, que vous n'aurez point à regretter le long voyage que vous venez de faire. Si le nombre de nos Collègues n'est pas plus grand, nous sommes heureux de voir nos anciens Présidents MM. Dumont, Bodin et Hillairet, ainsi que notre Vice-Président, M. Barbet, M. Maury, le doyen des perceurs de tunnels, et des Collègues bien préparés à apprécier les travaux que nous allons leur faire visiter. L'opinion de notre maître en travaux de mines, notre distingué Président M. Reumaux, nous sera précieuse.

La partie de la voie de service que vous venez de parcourir avec les 3 km de tunnels que nous allons passer tout à l'heure, composent la rampe sud; c'est en dehors du grand tunnel, la partie la plus accidentée de toute la ligne. Elle a été construite en un peu plus d'un an et, comme vous avez pu vous en rendre compte, pas sans difficultés. Le lever du terrain, le piquetage de la ligne, spécialement dans les gorges du Baltschieder, du Bitschthal, de l'Igolybach, où pas un sentier n'existait, où opérateurs et aides étaient obligés de travailler suspendus au-dessus des précipices, où, pour la construction, tout a dû être monté, rails, wagonnets, barraques, etc., quelquefois à dos de mulets, le plus souvent à dos d'hommes. Tout cela a demandé beaucoup de science et d'énergie ; nous sommes heureux d'en

féliciter devant vous MM. Guignard, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chef de la rampe Sud, Boyer, Bonnet et notre jeune Collègue, M. Parent, qui ont été chargés de l'exécution de ce travail, sous la direction de M. Zurder, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, notre Directeur général.

Après quelques kilomètres de parcours, peut-être un peu incommodes, nous arriverons à la tête Sud du grand tunnel, à Goppenstein.

Là encore, mes chers Collègues, il y a eu un travail considérable : où il n'y avait presque rien il y a un peu plus d'un an, une petite ville a surgi, avec ses maisons ouvrières, ses cantines, ses bureaux, magasins et ateliers, ses usines, etc.; tout respire la vie, la perforatrice a pénétré dans le sein de la montagne jusqu'à près de 2300 m. A raison de 5 m par jour en moyenne et atteignant quelquefois 8 m, c'est un résultat satisfaisant. Aussi ne vous étonnerez-vous pas et ne nous considérerez-vous pas comme des retardataires, en nous voyant revenu à l'emploi de la perforatrice à air comprimé, abandonnant ainsi la perforatrice hydraulique, qui a percé les grands tunnels modernes, le Simplon, notre voisin, et le Tauern, en Autriche.

Ce n'est pas sans mûre réflexion que nous nous y sommes décidés; nous n'avons qu'à nous en féliciter. Ceux d'entre vous, Messieurs, qui ont eu l'occasion de visiter pendant sa construction le tunnel du Simplon, ont dû remarquer que quatre perforatrices seulement étaient employées au front à la galerie de base et que tout le reste du déblai, la calotte, le strauss, le canal d'écoulement des eaux étaient exécutés à la main : une armée de mineurs frappant sur des fleurets ou maniant des barres à mines était constamment occupée aux déblais. Chez nous, le mineur maniant le fleuret ou la barre à mines est l'exception; la perforatrice et les marteaux à air comprimé (il y en a une trentaine en marche) ont remplacé la main-d'œuvre que nous avons réduite au possible.

La conduite de cette importante partie du grand tunnel est confiée à un homme pratique en même temps qu'énergique, à notre Collègue, M. Moreau; cette énergie il l'a montrée, en érigeant en peu de temps les installations que vous allez voir, au milieu de la neige, du froid et des avalanches de douloureuse mémoire.

Après les sommes importantes engagées en préparation, nous croyons être en mesure, si rien d'imprévu ne vient nous sur-

prendre, de remplir ponctuellement nos engagements, soucieux toujours de faire estimer et considérer le nom de l'Ingénieur français à l'étranger.

Messieurs, je lève mon verre à la santé de notre Président, M. Reumaux, et à la vôtre.

RÉPONSE

DE M. REUMAUX, PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ, AU DISCOURS DE M. COISEAU.

Non, mon cher Président, nous ne regrettons pas le voyage que nous avons entrepris avec le bel entrain que vous nous voyez depuis hier au soir, et que sûrement, reçus comme nous le sommes par vous et par vos amis, nous ne perdrons pas en route, — que nous importe un peu de pluie? une ascension un peu mouillée? Nous n'en apprécions que mieux l'affabilité de votre accueil. — Que nous importe encore le brouillard? S'il nous cache la merveilleuse plaine du Rhône, il nous laisse admirer et peut-être mieux comprendre la grandeur de l'œuvre que vous réalisez.

Ce que nous avons déjà vu et ce que vous nous annoncez pour notre visite après déjeuner, nous intéresse au plus haut point, et l'accueil si cordial que vous nous réservez nous touche infiniment. Je vous dirai ce soir toute notre gratitude, mais dès maintenant, je tiens à m'associer au nom de nos Collègues, au chaleureux hommage que vous venez de rendre à vos éminents collaborateurs, et je lève mon verre en votre honneur, mon cher Président, à vous dont la belle verdeur ne craint ni la fatigue des ans, ni celle des travaux, à vous dont les hautes qualités de talent et de caractère vous ont mérité l'affectueux respect de tous vos Collègues.

TOAST

DE M. REUMAUX, *au dîner de Brigue.*

MON CHER PRÉSIDENT,

Avant de lever mon verre au succès de l'importante entreprise dont nous avons admiré aujourd'hui les étonnants travaux

d'approche et la première mise en train, qu'il me soit permis de rappeler dans quelle circonstance mémorable vous nous avez laissé espérer cette visite à laquelle beaucoup de nos collègues attachaient le plus vif intérêt.

C'était, il y a un an; vous nous aviez fait l'honneur, à quelques amis des Ingénieurs Civils, à notre ancien Président, M. Hillairet, à notre Président en exercice, M. Cornuault, et à moi-même, de nous inviter à assister à l'inauguration du port de Zeebruggue, du canal maritime et des quais de Bruges, grands et difficiles travaux que vous veniez de terminer avec un succès éclatant.

Sa Majesté le Roi des Belges avait tenu à inaugurer en personne cette belle œuvre due pour une bonne part à sa prévoyante initiative. Ce fut une fête pour nous d'assister à votre triomphe, mon cher Président, de vous voir félicité par le roi, acclamé par les hauts magistrats et les industriels les plus importants de Belgique.

Comme nous nous approchions à notre tour, et vous apportions nos modestes félicitations, vous nous répondîtes avec ce cordial entrain et cette décision qui vous caractérisent : « Mes associés et moi, avons en vue d'autres et d'aussi importantes entreprises, quoique d'un ordre tout différent. Il ne se passera pas un an que nous n'invitions nos collègues des Ingénieurs Civils à les visiter, et je vous promets que vous ne regretterez pas ce voyage.

Loin de le regretter, nous sommes ravis de l'avoir entrepris, mon cher Président; aucun de nous ne s'attendait à l'émouvante surprise de l'ascension que nous avons faite ce matin sur une voie ferrée établie avec une science et une audace déconcertantes.

Aucun de nous ne s'imaginait qu'une voie d'accès commencée, il y a un an à peine, tracée au prix de sérieux dangers, exécutée partie à flanc de précipices, partie en tunnel, dans les conditions les plus difficiles, pût être prolongée presque jusqu'à l'entrée du tunnel à 25 km du point de départ. Personne enfin ne s'attendait à voir déjà complètement installés de puissants moteurs électriques, toute une importante machinerie de compression d'air et de ventilation, transportée à dos de mulets ou traînée jusqu'à 500 m d'altitude au-dessus de la vallée du Rhône, — des ateliers, des bureaux, des habitations et des réfectoires pour le personnel.

Avec quel intérêt nous avons écouté l'exposé que vous, vos associés et vos ingénieurs, avez bien voulu nous faire du pro-

gramme que vous vous êtes tracé, des moyens d'exécution que vous avez choisis, du matériel que vous avez étudié et mis en œuvre, enfin des résultats que vous avez déjà obtenus, — résultats qui dépassent tout ce qui avait été réalisé jusqu'ici. Votre coup d'essai est un coup de maître, et c'est avec une légitime fierté que nous disons à notre ancien Président, bravo ! bravo pour l'exemple d'énergie que vous donnez aux jeunes ingénieurs, — bravo pour avoir montré une fois de plus ce que peuvent les entrepreneurs français élevés à la grande école des Hersent et des Couvreux, élèves devenus des maîtres qui, à leur tour, font école, — l'école des Coiseau, des Allard, des Chagnaud ; — bravo enfin pour le vaillant concours que vous avez donné aux autorités si perspicaces du canton de Berne et aux habiles administrateurs de la Compagnie des Alpes Bernoises. En vous confiant l'exécution de leur œuvre internationale, aussi favorable aux intérêts français qu'à ceux de la Suisse et de l'Italie, ils savaient qu'ils plaçaient leurs intérêts en mains sûres et que leur confiance ne serait pas trompée.

Nous garderons, mon cher Président, de cette journée, de cette belle journée que n'ont pu assombrir ni brume, ni pluie, un inoubliable souvenir — le souvenir de magnifiques travaux admirablement dirigés, le souvenir de l'accueil si cordial, je dirai si affectueux que vous, vos associés et vos ingénieurs, avez réservé à vos collègues de la Société des Ingénieurs Civils de France. En leur nom, je vous exprime notre vive gratitude.

Je lève mon verre au succès de votre entreprise, je bois à votre santé, mon cher Président, à celle de vos associés qui nous ont si aimablement accompagnés et guidés, MM. Allard, Couvreux et Chagnaud dont le nom est désormais attaché à la réussite de la traversée de la Seine, opération délicate entre toutes celles qui ont établi la réputation des entrepreneurs du métropolitain de Paris.

Que veuillent bien agréer aussi nos remerciements et nos vœux de santé MM. les chefs de l'entreprise qui, empêchés de se joindre à nous, nous ont fort aimablement exprimé leurs regrets, — M. le directeur général Zurcher, — M. l'Ingénieur en chef Moreau, — MM. les Ingénieurs suisses et français et tout le personnel attaché à la belle entreprise, dont désormais les Ingénieurs civils suivront le progrès avec un intérêt passionné

DISCOURS

DE

M. MAURY, à *Brigue*.

Après les éloquentes paroles de M. le Président, j'ai quelque honte à parler à mon tour. Mais j'ai été si aimablement salué ce matin par M. Coiseau comme le doyen des perceurs de tunnels, que je crois de mon devoir de venir apporter à l'entreprise du Loetschberg et à son personnel le salut et les souhaits de leurs prédécesseurs.

Comme vous l'a dit M. Coiseau, je suis leur doyen ; tous ceux du Mont Cenis ont, en effet, disparu. Le Gothard a immédiatement suivi et c'est moi qui lui ai fait donner le premier coup de pioche, il y aura trente-six ans dans quelques semaines. C'était le 13 septembre 1872. Un vendredi et un 13. Nous n'étions pas superstitieux. Je ne sais pas si nous avons bravé le sort, mais il s'en est cruellement vengé.

Je souhaite à nos Collègues de ne pas connaître les difficultés que nous avons rencontrées, les obstacles de toute nature qui se sont accumulés sur notre route ; je le leur souhaite, mais, à vrai dire, mon souhait est déjà aux trois quarts exaucé ; ce que nous avons vu, les résultats déjà acquis font augurer de l'avenir, et d'ailleurs, la haute compétence, l'habileté et l'expérience des constructeurs auraient suffi à prédire par avance le résultat final.

Ils auront sur nous le grand avantage d'un travail de courte durée. Autrefois, un des gros écueils dans le percement des grands tunnels était le temps si long nécessité par leur exécution, la monotonie désespérante qui en résultait et par suite la lassitude et le découragement de tous.

Dans un chantier à ciel ouvert, l'intérêt se renouvelle chaque jour, le résultat de vos efforts est visible et palpable, le travail change constamment de figure. Dans un long tunnel, rien de pareil. Quand les installations sont terminées et la marche normale acquise, plus rien ne change ; les jours succèdent aux jours, les kilomètres s'ajoutent aux kilomètres ; mais le chantier est toujours le même et, en le parcourant jusqu'au bout, vous allez toujours vous heurter à cette paroi de pierre qui vous barre le chemin. Vous avancez, mais elle recule et, comme sa

distance aux autres travaux reste la même, tout paraît immobile et c'est énervant à la fin de travailler toujours pour sembler ne rien produire. Et lorsque cela dure des années, il faut une volonté tenace et une véritable obstination pour continuer à poursuivre avec la même énergie ce but décevant qui recule sans cesse.

Oh ! je sais bien qu'il y a des compensations. Un jour, à l'avancement, on entend tout à coup des bruits singuliers, indéfinissables ; on dirait un rongeur, qui, dans le silence de la nuit, cherche à percer une planche, puis ce sont des coups secs réitérés. Les jours suivants, ces bruits s'accentuent et se précisent ; bientôt, il n'y a plus à douter de leur nature. Ce sont les perforatrices de vos camarades qui travaillent, ce sont leurs coups de mines qui éclatent.

Oh ! alors, il n'est plus question de monotonie, tous les ennuis sont oubliés, on sent que l'on marche les uns vers les autres et que le diaphragme qui vous sépare, diminue d'heure en heure. Et lorsque les derniers coups de mine ont enfin jeté à terre cet obstacle, lorsque vous avez passé à travers la brèche ouverte dans la montagne, certes, la joie est profonde et la satisfaction grande.

Cette satisfaction, nous l'avons eue, mais je dois dire que nous avons trouvé qu'elle avait été achetée un peu cher. Songez donc, dix ans de travail ! dix années de jeunesse enfouies dans ce trou obscur ! Vous ne la paierez pas ce prix-là, mes chers Collègues, et je vous en félicite. Et elle vous rapportera davantage, je l'espère.

En tous cas, vous aurez une satisfaction plus durable ; elle a été notre récompense, c'est celle qui consiste à se dire que l'on a participé à une grande œuvre, que l'on a, pour une part modeste ou grande, et la vôtre est grande, contribué à la marche lente, mais progressive et constante de l'humanité, qui transforme peu à peu le monde. Elle ouvre des isthmes, elle perce des montagnes, elle abat successivement tous les obstacles que la nature a semés devant elle, et elle se sert pour les abattre des forces latentes que la nature elle-même tient en réserve.

Tout cela, ce sont les Ingénieurs qui le font, ils ont quelque peu le droit d'en être fiers et cela console de bien des déboires.

Mais ces déboires, vous ne les aurez pas, Messieurs, je l'espère, et c'est dans cet espoir que je lève mon verre en disant à tous : Bon courage et bonne chance.

RÉPONSE-TOAST

DE M. CHAGNAUD, *au dîner de Brigue.*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Notre Collègue de l'entreprise, M. Coiseau, n'a pas voulu, ce soir, continuer à être le doyen; c'est un sentiment très naturel de la part du jeune homme que vous connaissez; il m'a donc donné tout à l'heure, l'ordre de le remplacer.

En ma qualité de Benjamin, qualité dont il m'a gratifié ce matin, je ne pouvais faire autrement que d'obéir et je le fais avec d'autant plus de plaisir que pendant les cinq années que j'ai passées au Comité, beaucoup d'entre vous, Messieurs les anciens Présidents, m'avez honoré de relations agréables, amicales même. Rien ne pouvait m'être plus sensible que cette participation à vous faire aujourd'hui les honneurs de notre Entreprise de la Percée des Alpes Bernoises (Applaudissements).

Je ne veux pas vous parler à nouveau des travaux que vous avez visités depuis ce matin; je vous demande seulement la permission de vous signaler deux points qui sont plutôt la justification de deux situations particulières qui ne peuvent certainement échapper à votre attention.

Le premier point, c'est le grand retard des travaux d'arrière par rapport aux travaux d'avancement du grand Souterrain. Cela tient à ce que la Compagnie des Alpes Bernoises s'était réservé le délai d'une année pour décider l'élargissement en simple ou double voie. En bonne Compagnie qu'elle est, elle a usé du délai complet, et ce n'est qu'en octobre dernier qu'elle a décidé l'élargissement à deux voies du grand Souterrain. De là vient cette situation que vous avez remarquée aujourd'hui du côté sud; il en est de même du côté nord que vous visiterez après-demain.

Nous espérons rattraper ce retard, mais il y a là un travail considérable; c'est un des problèmes les plus difficiles que nous ayons à résoudre; vous en aurez une idée quand je vous aurai indiqué le chiffre de 900000 mc que nous avons à extraire du Loetschberg.

Le deuxième point a trait au mode proprement dit d'exécution du grand Souterrain.

A la Tête Sud, comme vous l'avez vu, nous procédons comme à l'ordinaire, en France : une galerie de base, puis une galerie de faîte, enfin des abatages latéraux pour arriver à section complète.

Du côté Nord, le procédé n'est plus le même. Nous commençons bien à pratiquer une galerie de base, mais, en raison du peu de dureté de la roche, cette galerie une fois boisée, nous exécutons l'excavation en totalité sans percer de galerie de faîte.

Il y a là une grande différence et l'expérience actuelle que nous faisons des deux procédés nous permettra de déterminer le meilleur au point de vue du prix de revient.

M. Coiseau vous a présenté ce matin nos Ingénieurs français des travaux du côté Sud : Du côté Nord les travaux de la Rampe et du tunnel sont conduits par deux Ingénieurs Suisses du Polytechnicum de Zurich, et nous comptons beaucoup sur l'émulation toute cordiale, tout amicale de l'ensemble de ce personnel placé sous la direction générale de M. Zurcher, qui réside à Berne, pour terminer à la date prévue en 1912, les 90 millions de travaux du Loetschberg; nous avons actuellement six mois d'avance, avance bien nécessaire pour parer aux aléas de la Montagne, comme nous le disait tout à l'heure M. Maury.

Messieurs,

Nous avons reçu, il y a quelques jours, les Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines; nous avons aujourd'hui l'honneur de recevoir nos Collègues de la Société des Ingénieurs Civils de France.

M. Reumaux, notre distingué Président, a bien voulu combler d'éloges et de vœux notre Entreprise et me combler personnellement. M. Maury n'a pas manqué de nous prodiguer ses grands encouragements et ses meilleurs souhaits; rien ne pouvait honorer davantage l'Entreprise Générale, rien ne pouvait être plus encourageant pour son personnel que ces visites des Grands Maîtres des Travaux des Mines et de l'Industrie en France.

Si nous travaillons ici pour la grande prospérité de la Suisse, pour la grande prospérité des Cantons de Berne et du Valais : nous travaillons aussi pour perfectionner les moyens d'accès au Simplon et pour donner aux lignes françaises le trafic auquel elles ont droit avec la Suisse et l'Italie.

Je n'ai donc plus rien à ajouter lorsque je dis simplement que nous travaillons aussi pour la France. (Applaudissements prolongés).

MESSIEURS,

Je lève mon verre pour boire à vos bonnes santés à tous, à notre vétéran M. Maury, à nos anciens Présidents et à notre très distingué Président actuel, M. Reumaux. (Applaudissements).

TOAST

DE M. COUVREUX, *à Kandersteg*.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Si nous sommes six entrepreneurs, ce n'est pas seulement pour exécuter les travaux du Loetschberg, mais aussi pour nous remplacer dans la présidence des banquets; après MM. Coiseau et Chagnaud, qui vous ont entretenus avant-hier de nos travaux du versant sud, c'est à moi qu'appartient aujourd'hui l'agréable mission de vous exposer ce qui se fait du côté nord.

Encore un discours, vous dites-vous immédiatement, eh bien non, rassurez-vous, ce ne seront que quelques paroles.

Nous voici au terme de ce voyage quelque peu accidenté, non seulement par le chemin rapidement parcouru, mais encore par les menaces d'un ciel d'abord peu clément qui, cependant, nous a, en dernier lieu, gratifié du beau soleil que nous aurions désiré continuel pour rendre plus agréable cette excursion.

Après avoir vu, autant que vous avez pu le faire, la grandiose vallée du Rhône et la sévère gorge de la Lonza, après avoir admiré hier, au cours d'un trajet des plus heureux, la magnifique et riche Gruyère, nous voici arrivés, par la belle vallée de la Kander, en ce radieux village de Kandersteg, au centre des hautes montagnes des Alpes Bernoises qui y forment un cirque vraiment merveilleux.

C'est au fond de ce cirque que se trouve l'entrée du grand souterrain du Loetschberg, à l'altitude de 1 200 m; vous trouverez dans la brochure qui vous a été remise et dans les comptes

rendus qui seront faits par de plus autorisés que moi, l'historique des préliminaires de la traversée des Alpes Bernoises, et vous jugerez pourquoi ce tracé a été préféré à celui du Wildstrubel par le Comité d'initiative présidé par M. Hirter, qui fut l'âme énergique et inlassable de ce Comité, non seulement durant cette période d'étude, mais encore dès qu'il fallut constituer la Compagnie qui assumait la charge de cette œuvre grandiose.

Comme l'Entreprise Générale, la Compagnie du Chemin de fer des Alpes Bernoises a son siège à Berne ; son Conseil d'administration, présidé par M. Hirter, est composé d'hommes éminents qui occupent des situations élevées dans le gouvernement du canton de Berne, ainsi que de plusieurs de nos compatriotes qui ont coopéré, d'une façon très active, à la constitution du capital de la Compagnie.

Ce fut là le véritable trait d'union qui, complété par le choix de l'Entreprise française, donne un si grand relief à une affaire intéressant la majeure partie du nord-ouest de l'Europe.

Le Conseil d'admiuistration de la Compagnie du Chemin de fer des Alpes Bernoises a délégué, pour nous accompagner aujourd'hui :

M. Golliez, Professeur de géologie de l'Université de Lausanne; rien ne pouvait nous être plus agréable que de retrouver ici, en sa personne, l'un des plus sympathiques membres de ce Conseil.

Je le prie, ainsi que ses Collègues, de recevoir l'expression de notre gratitude et nos sincères remerciements pour son aimable présence. *(Applaudissements prolongés.)*

La direction de la partie technique des travaux a été confiée à M. l'Ingénieur en chef Zollinger, qui s'est signalé par ses précédents travaux au Gothard et au Simplon ; à cet égard, la Compagnie ne pouvait faire de meilleur choix; sa direction, toute bienveillante autant que vigilante, assurera, sans aucun doute, le succès de l'œuvre entreprise.

Sous les ordres directs de M. l'Ingénieur en chef Zollinger, M. d'Erlach pour la rampe nord et M. Raschelé pour le souterrain, assurent le contrôle permanent des travaux; par leur expérience et par leur esprit de conciliation, ils maintiennent avec le personnel de l'Entreprise une émulation du résultat de laquelle nous n'avons qu'à nous louer.

Ici, du côté nord, l'Entreprise a confié la construction très délicate de la voie de service que vous venez de suivre à M. Potterat, Ingénieur du Polytechnicum, de Zurich, qui déjà a une

carrière bien remplie par d'autres travaux importants pour la réalisation desquels il fut attaché à des entreprises françaises, jusqu'au Tonkin même.

En même temps que la construction de cette voie de service, dont il s'est tiré avec grand honneur, M. Potterat a fait les études délicates, dans des terrains d'accès très difficile, comme vous avez pu vous en rendre compte, du tracé complet de la ligne définitive qui doit s'élever rapidement par une double boucle depuis Frutigen jusqu'au grand souterrain. *(Applaudissements.)*

Nous entrons maintenant dans un autre élément, c'est la percée de la grande montagne, c'est le mur qui fuit devant l'homme, ce labeur acharné et décevant, comme vous le disait avant-hier M. Maury — c'est à M. Rothpletz qu'incombe ce labeur ; vous verrez tout à l'heure comme déjà, sous son intelligente direction, les perforatrices ont avancé de 2700 m, en abattant parfois 9,20 m en vingt-quatre heures. C'est bien là le record dont M. le Président nous complimentait avant-hier; une grande part de ces compliments revient donc à M. Rothpletz et à ses courageux adjudants, MM. Prada et Casparis *(Applaudissements.)*

Tous ces services, comme ceux du côté sud, sont naturellement placés sous l'habile direction de M. l'Ingénieur en chef Zurcher, Directeur Général de l'Entreprise, en résidence à Berne.

En continuant notre visite, pendant que les uns iront au front d'attaque, d'autres visiteront les installations et ateliers divers.

Nous sommes vraiment heureux à ce sujet de féliciter devant vous notre Collègue Bourdel pour l'activité et l'intelligence qu'il a déployées dans l'organisation mécanique et électrique de l'Entreprise, tant au nord qu'au sud. *(Applaudissements.)*

Et maintenant, mes chers Collègues, permettez-moi de remercier, au nom de mes Associés, les anciens Présidents et les membres de la Société des Ingénieurs Civils qui ont bien voulu délaisser pour quelques jours leur labeur quotidien pour venir voir et étudier les travaux du Loetschberg; nous souhaitons vivement qu'ils reviennent juger de leur état d'avancement avant de nous faire l'honneur et le plaisir d'assister, en mars 1912, à l'inauguration de cette ligne à laquelle le peuple bernois attache, à juste titre, une si grande importance. La France suit également avec un vif intérêt la marche de notre entreprise, qui va lui créer un nouveau et important débouché vers le Sim-

plon; prochainement, sans aucun doute, nous apprendrons que l'œuvre de la Compagnie des Alpes Bernoises est complétée par celle des voies d'accès au Loetschberg; la traversée la plus courte du nord-ouest de l'Europe vers l'Italie sera ainsi réalisée par un parcours dans les plus riantes régions de la Suisse.

C'est dans cette espérance que je vous prie, Messieurs et chers Collègues, de lever vos verres à la prospérité de la Compagnie du Chemin de fer des Alpes Bernoises. *(Applaudissements.)*

TOAST

de M. GOLLIEZ, Administrateur de la Cie des Alpes Bernoises,

au déjeuner de Kandersteg.

Monsieur le Président,

Messieurs,

Je suis bien touché, en ma qualité de représentant de la Compagnie, d'avoir l'honneur de m'adresser à vous pendant quelques minutes.

Notre aimable convive M. Couvreux vous a détaillé comment se faisaient le chemin de fer du Lœtschberg et son grand tunnel, qui se sont construits grâce à tels concours, à telles circonstances, à telles personnes. Il semble que tout cela va devant soi poussé comme par enchantement et sans beaucoup de difficultés. A l'entendre, on a presque l'impression que c'est tout naturel ce qui se passe.

La Compagnie n'a pas du tout la même impression, elle admire les travaux qui s'exécutent et que vous avez vus; elle est impressionnée de l'énergie, de la rapidité, du brio avec lesquels ces travaux s'enlèvent. Elle sait bien que c'est grâce à l'Entreprise générale, à sa manière de travailler, à sa conception générale de mettre en œuvre des travaux aussi considérables, que tout cela est dû.

Par conséquent, Messieurs, si vous voulez bien me permettre, puisque je suis ici, comme vous, un invité, vous voudrez bien que, tout d'abord, je félicite ces Messieurs, et que je vous remercie ensuite seulement de votre visite.

Certainement, lors de la constitution de la Compagnie des Alpes Bernoises, l'Entreprise générale qui fait ces travaux a été pour beaucoup, ainsi que plusieurs autres concours de circonstances, pour arriver à réaliser cette affaire, puisque c'est le mot qu'il faut employer.

Il a fallu l'énergie du Canton de Berne qui a voulu absolument créer la percée des Alpes Bernoises et qui a mis 30 millions comme collaboration dans la combinaison qui allait se créer.

Il a fallu ces efforts financiers que l'on va recruter dans votre pays, puisque c'est la France qui est le trésor du monde, puisque c'est l'argent français qui concourt à tous les travaux publics dans le monde entier et il y en a un peu beaucoup chez nous. *(Rires et applaudissements.)*

A côté de cela, il a fallu une Entreprise telle que celle qui a travaillé ici, Entreprise qui s'est conquis la grande réputation dont elle jouit par la manière dont elle a toujours vaincu les difficultés, il a fallu une telle Entreprise pour donner la confiance nécessaire.

L'Entreprise générale est assurément concomitante et a permis la création de la Compagnie des Alpes Bernoises. Il lui revient à elle une part importante de la création de cette Compagnie; il lui revient à elle aussi de mener à bien les travaux entrepris.

Je suis heureux de pouvoir, au nom de la Compagnie, remercier les Entrepreneurs et les féliciter de leur appui.

Je suis bien sûr qu'avec eux, nous arriverons au but poursuivi, c'est-à-dire à percer les Alpes Bernoises, comme et quand nous l'avons voulu. *(Applaudissements.)*

Et maintenant, Messieurs, permettez-moi de vous dire combien la Compagnie des Alpes Bernoises est heureuse de votre visite. Nous sommes flattés que vous ayez bien voulu venir voir ce qui se passe chez nous; nous sommes heureux de pouvoir vous féliciter et nous aurions voulu que notre climat fût pour vous un peu plus clément; car il faut bien croire qu'il y a chez nous de plus beaux jours que ceux que vous avez vus.

C'est là une réclame qu'il était indispensable de placer dans un pays qui vit d'une telle entreprise et qui reçoit par an deux millions de visiteurs. *(Rires et applaudissements.)*

Vous reviendrez donc dans ce pays qui a parfois des charmes supérieurs.

MESSIEURS,

La Société des Ingénieurs Civils de France, qui vient nous voir, représente certainement dans l'Art de l'Ingénieur, l'un des éléments qui nous plaisent le plus, puisque là, l'émulation individuelle, la liberté de chacun, la concurrence de tous, sans protection officielle, se trouve être la base de l'effort personnel à exercer.

Nous sommes très flattés que vous ayez bien voulu venir voir nos travaux et venir vous rendre compte de ce qui se fait ici; je sais bien que l'un des Entrepreneurs a eu le privilège de vous présider, c'était déjà un motif; mais nous sommes heureux et flattés d'avoir joui de la gratitude que vous avez accordée à vos Collègues de l'Entreprise.

La Compagnie m'a prié de porter un toast à la santé de votre Société : je porte donc mon toast à votre Association, à sa fidélité, aux principes d'énergie privée qui la dirigent; je porte mon toast tout spécialement à cette foi publique, à cette libre concurrence qui représentent en elles-mêmes le terme de l'Ingénieur Civil de France. Vous représentez des éléments nécessaires à l'organisation scientifique dans votre pays et vous êtes la sauvegarde du développement individuel.

C'est à cette idée que je lève mon verre en y joignant une pensée de reconnaissance pour la France, votre belle patrie.

Que votre Société vive et que votre pays soit heureux, tel est le toast que je désire porter. *(Applaudissements prolongés.)*

RÉPONSE

DE M. REUMAUX, *à Kandersteg.*

MON CHER PRÉSIDENT,

Au moment où, arrivés au terme d'une visite si pleine d'intérêt, nous allons tout à l'heure, et bien à regret, nous séparer de vous, permettez-moi de me faire une fois de plus l'interprète de mes Collègues et de vous dire combien nous sommes touchés de votre aimable accueil et combien nous sommes émerveillés de ce que nous avons vu. Nous ne savons ce que nous devons ad-

mirer le plus, ou de la décision avec laquelle vous et vos associés avez mis sur pied en un aussi court espace de temps une entreprise formidable — (et en la qualifiant ainsi, je n'exagère assurément pas) — ou du talent avec lequel vous avez arrêté vos projets, fait choix des moyens et mis en action des outils les mieux appropriés au but.

L'avancement de 8 à 11 m par jour obtenu dans les durs terrains de la galerie préparatoire, étonne, mais ravit le vieux mineur que je suis, heureux d'applaudir à votre œuvre et de féliciter des compatriotes qui font honneur à leur pays.

La voie ferrée de service exécutée en quatre mois, remarquable à tant d'égards, et j'ajoute, si remarquée par les Ingénieurs des Ponts et Chaussées lors de leur récente visite, les ateliers des moteurs électriques, les compresseurs d'air, les ventilateurs, — les cités ouvrières, l'hôpital, les bains-douches, les bureaux, tout révèle la main énergique d'un maître de premier ordre et de collaborateurs capables et vigilants, tout enfin donne l'impression qu'on se trouve en présence d'une œuvre qui aboutira parce qu'elle est menée.

Nous savions déjà, et M. le Professeur Golliez vient de nous rappeler en termes éloquents que c'est grâce au Conseil du Canton de Berne, à sa volonté et à sa persévérance, à l'aide qu'il a trouvée dans la Compagnie des Alpes Bernoises, assurée elle-même du concours efficace de l'Entreprise générale, que l'œuvre du percement du Lœtschberg a pu être abordée, — œuvre dont la France se félicite non seulement parce qu'elle met en relief le mérite des meilleurs parmi ses enfants, mais parce qu'elle doit étendre et consolider les liens précieux d'amitié et de commerce qui, déjà, nous attachent à la Suisse et à l'Italie.

Monsieur le Président, Messieurs,

C'est émerveillé de tout ce que j'ai vu que je lève une fois de plus mon verre au succès de votre entreprise et à la santé de ses vaillants pionniers.

A vous, mon cher Président, dont l'inlassable activité fait l'admiration de tous; vous ne comprenez la vie que dans l'action. Descartes écrivait : « Je pense, donc je suis »; vous dites : « Je crée, donc je vis. »

Puissiez-vous terminer brillamment cette œuvre superbe et en entreprendre de plus vastes encore. Vos associés de l'Entre-

prise générale qui, tous, ont à leur actif de brillants états de service, ne vous marchanderont pas leur concours.

A vous, M. le Professeur Golliez, qui avez parlé de tous les collaborateurs de l'Entreprise, n'oubliant que vous-même, et cependant il vous était bien permis de dire : *Quorum pars magna fui.*

A vous, M. le Directeur général, M. l'Ingénieur en chef, MM. les Ingénieurs et collaborateurs de tout ordre, Suisses et Français, dont le précieux accord est le meilleur gage de réussite de ce grand et difficile travail.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Adolphe & Émile FORTIN-HERRMANN[1]

PAR

M. Daniel GRAND

MM. Adolphe et Émile Fortin-Herrmann étaient les petits-fils de Nicolas Fortin, membre du Bureau des Longitudes, auteur des balances de précision, du baromètre de montagne, du grand cercle mural de l'observatoire de Paris, de lunettes astronomiques, des instruments ayant permis les observations de la détermination de la longueur du mètre et créateur des premiers étalons du système métrique. Participant à la plupart des travaux scientifiques de la fin du XVIIIe siècle et du commencement du siècle dernier, il créa les outils et les instruments de précision indispensables aux recherches des savants de tous les pays. Chevalier de la Légion d'Honneur dans les dernières années de sa vie, mort à quatre-vingt-un ans en 1831, Nicolas Fortin ne laissa qu'un passif à sa famille, par le fait de son grand désintéressement et des frais considérables occasionnés par ses multiples recherches.

M. Ernest-Henry Herrmann, fils du bibliothécaire de la cour royale de Saxe, à Dresde, Ingénieur envoyé par l'État comme élève chez Fortin, avait épousé, après bien des difficultés, une des filles de celui-ci, et fut, durant à peine quelques années, associé à ses travaux. Il mourut à la suite d'une longue maladie, six mois après son beau-père.

C'est dans ces circonstances difficiles que M. Émile Fortin-Herrmann et son frère furent élevés par leur mère, Mme Herrmann, et leur tante, Mlle Louise Fortin, que le grand-père avait associées et même sacrifiées à ses travaux, les trouvant pour lui nécessaires dans les opérations délicates et minutieuses de la construc-

(1) Bulletin de mars 1908, page 300.

tion des instruments de mathématiques. L'étude avancée des sciences naturelles et des mathématiques, éducation virile pour l'époque, permit à ces femmes courageuses et intelligentes de continuer les travaux de la maison, avec les encouragements de quelques savants, parmi lesquels il faut citer Arago, Biot, Dulong, Humboldt, Thénard, Gay-Lussac, Mathieu, Laugier, Dumas et Desprets. Elles purent donner aux deux jeunes gens l'éducation nécessaire, au prix des plus dures privations, pour pouvoir leur permettre de reprendre plus tard la suite de l'établissement de commerce de leur grand-père.

L'enfance des deux frères Fortin-Herrmann s'écoula au milieu de leur famille, dans le bâtiment de l'ancien collège des Grassins, sur la montagne Sainte-Geneviève et près de l'École Polytechnique. Le collège des Grassins avait été mis à la disposition de Nicolas Fortin, par le gouvernement de la Révolution Française, après la suppression de l'Université de Paris. La chapelle de ce collège servait d'atelier d'expériences à Nicolas Fortin.

Suivent alors vingt années de luttes de toute sorte pour ces messieurs, avant de prendre possession d'une situation industrielle et d'arriver à la réalisation des principaux travaux dont voici la nomenclature :

1841-1843. — Perfectionnement de la balance Fortin, pesant directement, au lieu de par tare, le kilogramme au milligramme. Appliquée, après concours de la chambre de commerce de Lyon, à 485 balances dans les établissements de conditionnement des soies et des laines de Lyon, Saint-Étienne, Nîmes, Aubenas, Privas, etc. — Installations des conditions des soies à Milan, Crefeld, Elberfeld, Zurich, Udine et Moscou. Envoi de modèles en Angleterre et en Amérique. — Construction des étalons métriques, poids et mesures, pour les chefs-lieux des départements de France.

1842-1849. — Études, exécution et applications industrielles des appareils pour l'éclairage par le gaz comprimé ; pompes de compression et soupapes automatiques, régulateur de pression à vis à levier, réservoirs à gaz comprimé, robinets, etc. (1). — Première application du gaz comprimé en 1848, sur chemins de fer (train-poste entre Paris et Orléans et retour, chemin de fer

(1) Voir : *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, t. XXVIII, 1849, pp. 8-13 : *Rapport sur un mémoire de MM. Fortin-Herrmann concernant des appareils pour la compression des gaz.*

de Paris à Corbeil); éclairage des falots de locomotives, des signaux de trains et des wagons. — Première autorisation obtenue de la préfecture de police, de faire circuler, sur la voie publique, des voitures à gaz comprimé, contenant 250 m² de gaz riche, comprimé à 11 atmosphères (problème considéré, avant les appareils Fortin-Herrmann, comme étant la source d'immenses dangers). — Ces travaux furent récompensés par une médaille d'argent à l'Exposition de 1849 et deux médailles de deuxième classe à l'Exposition universelle de 1855 (1).

1845-1846. — Étude et exécution de machines numismatiques à graver les papiers de sûreté pour le Timbre. — Perfectionnements annulant les temps de perte dans les écrous micrométriques et dans les transmissions de mouvement par leviers.

1847. — Perfectionnement de la cuvette du baromètre Fortin.

1854-1855. — Étude et brevet sur les fondations hydrauliques des piles, culées de ponts et jetées à la mer par des bateaux-réservoirs métalliques servant de contrepoids variable, mis en charge à volonté sur la tête des piles en construction, par l'intermédiaire de presses hydrauliques à course de 3 et 4 mètres (course énorme jusqu'alors inconnue). — Médaille d'argent à l'Exposition universelle de 1855 pour cette étude (2).

Les premières applications de la presse hydraulique imaginée par MM. Adolphe et Émile Fortin-Herrmann ont été faites pour les fondations du pont de Lora, sur le chemin de fer de Séville à Cordoue, et pour celles du pont de Bordeaux, reliant les chemins de fer d'Orléans et du Midi, par M. Nepveu, successeur de MM. Nepveu et Servel (ancien établissement de la Bienfaisance), ayant comme employé, au bureau des études, M. Eiffel (Voir le mémoire de M. E. Fortin-Herrmann, à la Société des Ingénieurs Civils, 1859, mentionné ci-après). La fondation de l'ancien pont de pierre de Bordeaux a demandé dix ans; celle du pont des chemins de fer, descendue deux fois plus profondément, jusqu'au rocher, à 23 mètres au-dessous du niveau de l'eau, a été faite en une saison. En 1862, à l'Exposition universelle de Londres, les Anglais ont attribué à MM. Fortin-Herrmann une *Price Medal*

(1) Voir : *Exposition universelle de 1855. Rapports du jury...*, Paris, 1856, 2 vol. in-4°, t. I, p. 454.

(2) Voir : *Exposition universelle de 1855. Rapports du jury mixte international, publié, sous la direction de S. A. I. le Prince Napoléon, président de la Commission impériales* Paris, Imp. Impériale, 1856, 2 vol. in-4°, t. II, p. 201.

pour cette application aussi hardie que nouvelle de la presse hydraulique (1).

1854-1857. — M. Adolphe Fortin-Herrmann a dirigé, sous M. Mayniel, ingénieur en chef, le bureau des études de la Compagnie parisienne, après fusion des usines à gaz de Paris, pendant la construction des nouvelles usines de La Villette, Auteuil et Vaugirard. — Chauffage et ventilation de l'hôpital Lariboisière.

1856-1870. — Études et exploitation des appareils et machines multiples nécessaires à la distribution des eaux et du gaz sur la voie publique et à l'intérieur des habitations *(Entreprise générale de distributions et concessions d'eau et de gaz)*, dont le caractère distinctif de chacun d'eux ne peut figurer ici (brevet du 2 avril 1855). MM. Fortin-Herrmann furent pendant près de quinze ans les entrepreneurs de la Compagnie générale des eaux, alors dirigée par MM. Ed. Blount et J. Hochet.

Toutefois, il faut dire que l'invention capitale par ses conséquences industrielles et sa portée dans l'avenir a été le *tuyau cylindrique à bague*, servant à l'établissement des canalisations d'eau, de gaz, des liquides, des lignes souterraines télégraphiques et de l'air comprimé (brevet et additions, 16 août 1858) (2).

A l'occasion des expositions de 1867 et de 1878, MM. Fortin-Herrmann obtinrent la médaille d'or et la médaille de collaborateur de la ville de Paris. M. Adolphe Fortin-Herrmann, l'aîné des deux frères, a été décoré en 1881, non pour l'ensemble de leurs travaux, mais spécialement, par le Ministre des Postes et Télégraphes, pour les études et l'exécution d'appareils et canalisations du service pneumatique, télégraphique, et des horloges à air comprimé dans Paris, ainsi que l'exécution des premières lignes souterraines entre Paris et Nancy, Paris et Le Havre et partie de la ligne de Paris à Lyon et à Marseille, et, à l'étranger, à Saint-Pétersbourg et à Moscou (3).

(1) Les fondations tubulaires ont été l'objet d'une communication de MM. Fortin-Herrmann, à la Société des Ingénieurs Civils, dans sa séance du 7 septembre 1860. MM. Fortin-Herrmann publièrent ensuite, dans les Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils, un *Mémoire sur les procédés et appareils de fondations tubulaires de MM. Fortin-Herrmann frères : application de la presse hydraulique et de l'eau comme lest, pour obtenir par l'air comprimé, le vide ou le dragage, l'enfoncement des piliers dans le sol.* [*Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils.*] (Paris, E. Lacroix, 1862, in-8° de 40 pp. et 2 pl.)

(2) Voir : *Exposition universelle de 1855. — Rapports du jury...*, Paris, 1856, 2 vol. in-4°, t. II, p. 169.

(3) Voir : A. Fortin-Herrmann, *Lignes télégraphiques souterraines. — Étude et exécution de la canalisation et du tirage des câbles*, Paris, 1879-1882, album petit in-folio.

M. Adolphe Fortin-Herrmann fut l'auteur d'un très grand nombre de perfectionnements de détail dans la construction des appareils de distribution d'eau, de gaz et de force motrice, électricité ou air comprimé. Voici l'indication des principaux brevets qu'il prit : appareil pour opérer des prises d'eau sur conduites d'eau en charge (22 août 1871) ; perfectionnement dans les tubes pour télégraphe atmosphérique (4 mars 1879) ; perfectionnement dans l'assemblage des conduites en fonte ou autres pour renfermer les câbles télégraphiques (19 juillet 1879) ; perfectionnement aux appareils tête de ligne servant à l'expédition ou à la réception des dépêches (15 octobre 1879) ; perfectionnement dans les moyens d'introduire et de retirer les câbles télégraphiques dans les conduites souterraines (24 janvier 1880) ; enfin, un système de câble électrique pour l'isolement parfait des conducteurs multiples (24 février 1883) (1).

Les travaux principaux exécutés par ces messieurs depuis 1858 furent les canalisations et appareils de l'ensemble du service des eaux de la ville de Paris et des abonnés de la Compagnie générale des eaux et les canalisations et appareils de la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz ; les siphons de 1,10 m de diamètre en tuyaux F.-H. des sources de la Vanne ; les distributions de plus de cent villes différentes, dont environ soixante-quinze en France et en Algérie et le reste dans les pays étrangers (Italie, Portugal, Espagne, Belgique, Grèce, Martinique, Guadeloupe, Cuba, Cochinchine, Nouvelle-Calédonie, etc.). Ils firent également les distributions d'eau et de gaz d'un grand nombre de propriétés particulières à Paris, en province et à l'étranger.

Il faut ici rendre hommage à la collaboration de leur associé, W. Laing, sujet britannique, qui était surtout chargé de la direction des travaux dans les pays lointains.

Leur établissement et ses succursales occupaient, en 1868, au delà de mille ouvriers. L'exécution des travaux de la ville de Paris et des télégraphes étaient dans les attributions de M. A. Fortin-Herrmann, les études des projets et les travaux en France et à l'étranger étaient dans celles de M. Emile Fortin-Herrmann. C'est dans ces circonstances que ce dernier a dirigé depuis 1864

(1) M. Adolphe Fortin-Herrmann ne spécifiait dans ce brevet, comme matières isolantes, que le bois, le verre, l'émail et la porcelaine. Un nouveau perfectionnement, simplifiant à la fois la forme et la fabrication de l'enveloppe isolante par son remplacement par du papier pur et simple, a été exécuté depuis en Angleterre et a privé M. A. Fortin-Herrmann des fruits de son invention.

les travaux de distribution du canal de la Siagne, comprenant sur son parcours de 71 km les villes de Grasse et Cannes. Il faut citer particulièrement les travaux de Saint-Cézaire, occupant un nid d'aigle sur le sommet d'un rocher, où une turbine de 25 chx, mue par l'eau du canal, deux pompes spéciales et une conduite en tuyaux cylindriques FH de 0,120 m de diamètre intérieur et de 503 m de longueur, cramponnée au rocher par des colliers en fer, sous l'ardeur d'un soleil perpétuel, à fleur d'un sol incliné à 34 degrés, élève 250 m³ chaque jour à l'altitude de 244 m au-dessus de la prise d'eau et de la chute du canal, et cela depuis quarante ans, sans avoir éprouvé d'interruption d'aucune nature. Les travaux de distribution des eaux du canal de la Siagne, avec leurs 80 km de conduites cylindriques à bague FH, dans cette région aride et pour ainsi dire inconnue il y a cinquante ans, répandent aujourd'hui, par leurs eaux abondantes, s'élevant jusqu'à 170 m au-dessus de la mer, la fertilité sur toute la côte du golfe de la Napoule et du golfe Jouan, depuis la sortie des montagnes de l'Estérel jusqu'au cap d'Antibes.

Depuis 1882, M. Adolphe Fortin-Herrmann continua seul l'entreprise de concessions d'eau et de gaz et y adjoignit pendant quelque temps différents genres de travaux publics. Il fut chargé du service pneumatique de Paris pour la pose des lignes de tubes atmosphériques en fonte, placées en tranchée ou en égout, avec canalisations simples, doubles ou triples, des travaux de montage d'appareils de réception et d'expédition des bureaux télégraphiques de Paris, de la pose des premières lignes téléphoniques souterraines entre Paris et les villes de province, etc.

En 1882, M. Émile Fortin-Herrmann alla en Russie faire des recherches, à Nicolaïeff, sur la mer Noire, des eaux potables nécessaires à l'alimentation de cette ville de 80.000 habitants. Il y aurait à dire les difficultés vaincues dans cette captation de 70 l d'eau par seconde, rencontrée à 18 m de profondeur au-dessous des grandes rivières du Bug et de l'Ingul, à travers des couches calcaires d'une pénétration extrêmement difficile.

M. Adolphe Fortin-Herrmann s'est beaucoup intéressé à une question qui a paru longtemps chimérique, quoiqu'elle ait commencé récemment à recevoir des solutions pratiques : la traction sans l'aide de roues ordinaires. Il s'occupa pendant quarante ans de la création d'une machine routière à patins,

pour laquelle il prenait un brevet dès le 2 juillet 1870 (système de traction sur routes ordinaires et autres) et dont il fit figurer un modèle réduit à l'Exposition universelle de 1878, où il fut très remarqué, ainsi que dans diverses conférences publiques et privées (1).

Depuis 1876, M. Emile Fortin-Herrmann appliqua son activité sur un domaine agricole de Sologne d'une superficie de 402 ha, dont 275 en forêts. M. Emile Fortin-Herrmann aménagea 10 ha d'étangs, qui nécessitèrent d'importants travaux d'art sur un parcours de près de 3 km (2).

M. Emile Fortin-Herrmann est aussi l'inventeur d'une tuile-gouttière pour bâtiments agricoles. Il pensait que cette dernière invention était arrivée à sa plus grande simplicité, qu'une fois entrée dans les usages agricoles, elle serait d'un emploi durable, parce qu'elle deviendrait la source de sérieuses économies d'engrais, actuellement perdus par le mélange du purin et l'entraînement des eaux pluviales avec le fumier de la ferme (brevet du 15 juin 1881).

Enfin, membre du Comité central agricole de la Sologne, M. Émile Fortin-Herrmann, depuis 1880, s'efforça de contribuer au progrès du pays, comme rapporteur et comme président de la commission spéciale des concours pour la création des prairies par l'utilisation des eaux et pour la création des prairies temporaires (3) et comme propriétaire faisant exécuter de grands travaux forestiers et agricoles. M. Émile Fortin-Herrmann fut l'un des six grands propriétaires qui se réunirent pour faire une exposition collective des grandes améliorations effectuées

(1) Une machine routière anglaise est actionnée par une combinaison des patins et des roues. Voir : F.-A. Wheel, *Une voiture sans roues*, dans la revue française *La Vie au grand air*, 1908, p. 294 (9 mai).

(2) Voir : Glatigny (baron de), *Les étangs du département du Cher. — Communication faite à la Société départementale de pisciculture du Cher... à la séance du 12 février 1904*, Bourges, 1904, in-8° de 16 pp., p. 12. — Archambault, *Étangs et cours d'eau de Sologne. — Étude d'aquiculture, par un Solognot*, Romorantin, 1891, in-8° de 68 pp. (Mémoire couronné par le Comité central agricole de la Sologne dans sa séance du 26 octobre 1890), p. 51 (acclimatation du saumon quinnat de Californie), et F. Caquet, *Les reboisements de la Sologne*, Paris, 1887, in-8° de 40 pp., pp. 32-33 (rapport présenté à la Section de sylviculture de la Société des Agriculteurs de France).

(3) C'est en cette qualité que M. Émile Fortin-Herrmann a publié, dans les *Annales du Comité central agricole de Sologne*, les rapports suivants : *Rapport sur le concours ouvert pour l'utilisation des eaux et la création de prairies en 1881, (séance du 23 octobre 1881)*, année 1881, in-8°, pp. 560-570. — *Rapport sur le concours pour la création de prairies par l'utilisation des eaux en 1885* (*séance du 25 octobre 1885*), année 1885, pp. 169-181. — *Situation générale des prairies de la Sologne : rapport sur le prix d'hydraulique agricole du Ministère de l'Agriculture* (*séance du 23 octobre 1887*), année 1887, pp. 366-398.

en Sologne sous leur direction et qui obtinrent un diplôme de grand prix à l'Exposition universelle de 1889 (1).

M. Émile Fortin-Herrmann apporta pendant plus de trente ans son concours aux affaires de la commune de Brinon-sur-Sauldre (Cher), à l'occasion desquelles il s'est livré à un travail de plusieurs années, sur la reconnaissance et le classement général des chemins vicinaux, ruraux et d'exploitation, travail particulièrement ardu dans la région de la Sologne, où l'organisation de la viabilité était de date toute récente. Ce travail d'ensemble fut soumis au Ministère de l'Intérieur et reçut l'approbation officielle des chefs de l'administration supérieure.

Il y a encore lieu d'ajouter et de rappeler que, par son expérience, ses conseils et sa participation financière, M. Émile Fortin-Herrmann a contribué à faire organiser et diriger par M. Charles Durand, son beau-frère, la Société des eaux et du gaz de Tunis, au capital de trois millions, lors de l'établissement du protectorat. Les canalisations suivirent le parcours des anciens aqueducs de Carthage, depuis les sources de Zagouan jusqu'au port de Tunis et de La Goulette, et furent ensuite complétées par l'aqueduc du Bargou, inauguré en mars 1905, qui amène, par des conduites d'une longueur de plus de 150 k, l'eau des montagnes du Djebel-Bargou jusqu'à Tunis. Les jonctions des tuyaux en ciment armé ont été faites, non pas par des manchons, mais d'après le système des tuyaux cylindriques à bague. En récompense de sa collaboration à cette œuvre, M. E. Fortin-Herrmann a reçu la décoration de commandeur du Nicham Iftikhar.

M. Émile Fortin-Herrmann suivait avec beaucoup d'attention le mouvement scientifique et industriel contemporain, surtout pour les travaux d'hydraulique, dont il avait fait sa spécialité. Il a fait don, en 1906, au Conservatoire des Arts et Métiers, des modèles des principaux appareils exécutés par lui et son frère (fanaux de locomotive et d'arrière-train, premier régulateur à gaz comprimé à 11 atm, type des tuyaux unis à bague F.-H., coupe du régulateur des fanaux à gaz comprimé). Il s'était beaucoup occupé d'une question capitale de la traction sur les chemins de fer : la recherche du mode d'assemblage continu des rails, en vue du passage des wagons sans choc ni trépidation, à la rencontre de chaque extrémité des rails, permettant

(1) Voir : Boucard (Henri), *Transformation de la Sologne, son assainissement et sa mise en valeur (1850-1900)*, Paris, 1900, gr. in-8° de 56 pp., p. 40.



la réalisation pratique et continue de la circulation des trains à grandes vitesses, au delà de 100 k à l'heure, avec diminution considérable de l'usure de la voie et du matériel roulant (1).

Il se délassait de ses occupations scientifiques en étudiant la sténographie (système Duployé). Il fut l'un des premiers à voir dans la sténographie, non pas seulement un instrument professionnel destiné à recueillir les discours et les débats, mais aussi un moyen d'étude pour faciliter le travail intellectuel et l'acquisition des connaissances. Il publia, dans ce sens, un petit traité de vulgarisation et d'enseignement de la sténographie destiné à l'éducation des tout jeunes enfants (2). Ce petit livre obtint une récompense à l'Exposition Universelle de 1900. M. Émile Fortin-Herrmann fit également, au congrès des sténographes de 1900, une communication importante sur l'emploi de la sténographie dans l'éducation du premier âge (3). Sa méthode qui est une application de la méthode générale des « leçons de choses », est basée sur l'emploi de cartes donnant, avec les signes sténographiques formant les mots, les images des choses correspondant aux mots.

Enfin, en mémoire de son grand-père Nicolas Fortin, M. Émile Fortin-Herrmann a fait deux legs, l'un à la Société des Ingénieurs civils, l'autre dans la commune de Heilles (Oise), lieu d'origine de Nicolas Fortin.

M. Adolphe Fortin-Herrmann est né à Paris le 20 août 1821 et est mort à Paris le 18 juillet 1901. M. Émile Fortin-Herrmann est né à Paris le 25 décembre 1825 et est mort aux Réaux, près Brinon-sur-Sauldre (département du Cher), le 18 février 1908.

(1) Outre le mémoire sur les fondations tubulaires, cité ci-dessus, M. Émile Fortin-Herrmann a publié, dans les Mémoires de la Société des Ingénieurs civils, un rapport sur les travaux publics aux États-Unis, dont il fit faire un tirage à part (*Analyse du rapport de mission de M. Malézieux, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, sur les travaux publics des États-Unis d'Amérique, en 1870, partie relative aux fondations hydrauliques et aux distributions d'eau*, Paris, imp. Viéville et Capiomont, 1876, in-8°, de 38 pp.).

(2) Fortin-Herrmann (Émile), *Méthode d'enseignement ante-scolaire : sténographie des enfants vulgarisée par le jeu*, Paris, 1896, in-12, de 74 pp. (mention honorable à l'Exposition universelle de 1900).

(3) Voir : *Compte rendu du septième congrès international de sténographie tenu à Paris, au palais des congrès, sous les auspices du Ministre du Commerce et de l'Industrie, du 9 au 14 août 1900*, Paris, Delagrave, 1901, in-8°, de 356 pp., pp. 190-198 (E. Fortin-Herrmann, *Enseignement ante-scolaire de la sténographie*).



NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. René PANHARD[1]

PAR

M. Léon APPERT

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ

Un de nos Collègues, René Panhard, membre de la Société depuis 1880, dont le nom s'est répandu, au cours de ces dernières années, dans des conditions telles qu'il n'est pas exagéré de le regarder, en ce moment, comme universellement connu, est décédé le 16 juillet de cette année.

Associé à celui de Levassor, notre Collègue également, décédé lui-même en 1897, il devait acquérir une célébrité à laquelle bien peu d'entre nous ont osé aspirer : ces deux noms, indissolublement liés, resteront dans les annales de la mécanique et, plus particulièrement, dans celles de la mécanique appliquée à la traction sur route, comme ceux des principaux promoteurs de cette industrie nouvelle, appelée, par ses conséquences directes ou indirectes, à révolutionner les conditions d'existence du monde civilisé.

C'est grâce à eux que la France aura été, dès le début, à la tête de cette industrie, qu'ils ont, pour une si grande part, contribué à créer, et pour laquelle elle aura été, et est encore, une source de succès aussi flatteurs par leur retentissement que fructueux par leurs résultats financiers.

Sorti de l'École Centrale en 1864, René Panhard entrait, la même année, comme Ingénieur, dans la maison de Longueil, qui exploitait, à cette époque, les brevets Collas pour la fabrication mécanique des roues de voitures ; cette maison en avait fait plus tard une importante utilisation pour le façonnage, sur calibres, de toutes espèces de pièces tournées et fraisées, la principale application en étant primitivement celle des pièces employées dans la carrosserie.

Très intéressé par l'application faite dans cet établissement de

(1) Bulletin d'octobre 1908, page 555.

ces ingénieux procédés, il se mettait en rapport avec M. Périn, constructeur de machines à travailler le bois, inventeur lui-même d'appareils nouveaux, et, en particulier, de la scie à rubans, il en devenait l'associé en 1866.

La sagacité dont a fait preuve cet esprit réfléchi, qui savait s'intéresser à toutes les inventions nouvelles, ne tardait pas à porter ses fruits : la Société Périn et Panhard prenait rapidement, grâce à lui, le premier rang parmi les maisons s'occupant du travail des bois.

En 1872, le concours d'un collaborateur actif et bien au courant des questions mécaniques, étant reconnu indispensable, MM. Périn et Panhard s'adjoignaient Levassor, Ingénieur, également sorti de l'École Centrale, et camarade de promotion de notre Collègue, avec lequel il avait continué d'entretenir d'étroites relations d'amitié; ils n'hésitaient pas à se l'associer.

En 1883, Panhard et Levassor, par suite du décès de M. Périn, restaient seuls à la tête de cette maison, dont l'importance n'avait fait que s'augmenter et s'accentuer sous leur direction commune.

Les découvertes nouvelles ne pouvaient laisser indifférents ces deux esprits avides de progrès et dont les aptitudes assez différentes se complétaient si heureusement : en 1878, ayant eu occasionnellement connaissance de l'invention de nouveaux moteurs destinés à améliorer les conditions d'utilisation du gaz d'éclairage employé comme source de force motrice, ils en entreprenaient la construction.

Le succès couronnait bientôt leurs efforts et l'emploi des moteurs à gaz « Otto », dont ils avaient acquis la licence d'exploitation exclusive, se développait rapidement, grâce à leur bonne exécution et aux avantages économiques qu'ils présentaient dans les conditions où ils avaient su les établir.

D'autres succès les attendaient, plus retentissants : éclairés par l'expérience qu'ils avaient acquise avec ces premiers moteurs, et pénétrés de l'utilité et des incomparables services que seraient susceptibles de rendre des moteurs pour la mise en action desquels on éviterait l'emploi des appareils lourds et volumineux, employés ordinairement pour la production de la vapeur, ils entreprenaient, à l'expiration de leur traité avec les détenteurs des brevets « Otto », la construction des moteurs à essence, d'après le brevet « Daimler » récemment publié en Allemagne.

Ces petits moteurs légers et peu encombrants, dont ils avaient été les premiers à apprécier les qualités et dont ils soupçonnaient l'utilité par les nombreuses applications dont ils leur semblaient être susceptibles, devaient leur donner la célébrité.

En effet, ne se bornant pas à les construire, ils recherchaient de suite les applications qui pourraient en être faites, et, regardant comme d'un intérêt plus immédiat celles concernant l'industrie des transports, industrie pour laquelle la diminution de poids du moteur et leur faible volume sont d'une importance capitale, ils n'hésitaient pas à en faire une application raisonnée et toute nouvelle en présentant à l'Exposition Universelle de 1889, d'accord avec M. Daimler l'inventeur, et sous son nom, un canot automobile.

L'apparition de ce nouveau moteur, autant que l'ingénieuse application qu'ils avaient su en faire, fut un véritable événement; aussi, encouragés par le succès qu'avaient obteuu ces premières tentatives, cherchaient-ils à réaliser l'idée qu'ils avaient eue depuis longtemps, et dont ils n'avaient cessé de s'entretenir, de l'appliquer aux transports sur route, en créant une voiture automotrice.

Que de difficultés n'eurent-ils pas à vaincre et que d'ingénieuses combinaisons ne durent-ils pas imaginer avant d'obtenir les résultats surprenants dont nous apprécions les conséquences aujourd'hui, résultats dont, aussi bien par l'entraînement d'une vie outrancière que par le développement prodigieusement rapide de cette industrie, on semblerait trop facilement disposé à oublier les hardis promoteurs et les heureux auteurs.

Le succès finalement couronnait leurs efforts et, à l'aurore du vingtième siècle, la voiture automobile, presque telle que nous la voyons aujourd'hui, était inventée et prenait rang parmi les moyens de locomotion susceptibles d'être employés pratiquement et avec sécurité.

Dans cette association où des efforts de toute espèce étaient chaque jour renouvelés, René Panhard avait dû mettre en jeu, pour sa part, les importantes ressources financières dont il disposait; il les avait engagées sans compter; il apportait, en même temps, l'appoint de son jugement éclairé et sûr : entre autres dispositions de principe, pourrait-on dire, qui lui sont dues, est celle ayant trait à l'augmentation de la puissance du moteur, estimant, comme il le disait, et avec la prévoyance dont ceux qui l'ont connu le savaient susceptible, que le succès de ce

mode de locomotion nouveau ne serait apprécié du public qu'autant qu'il apporterait une amélioration dans les conditions de transports usitées jusqu'ici.

Et on peut se rendre compte aujourd'hui si cette appréciation était juste par la faveur avec laquelle le public a su accueillir cette remarquable invention et le parti qu'il en a tiré, souvent bien au delà des limites que Panhard avait prévues : il déplorait, en effet, ces excès de vitesse dont il avait été involontairement l'auteur en les rendant possibles, pour leur danger et leur inutilité; la mort de son collaborateur Levassor, conséquence lointaine d'un de ces terribles accidents, n'avait pu que le confirmer dans ses appréciations, malheureusement, trop souvent justifiées.

Très estimé de ses confrères, qui avaient su apprécier la droiture et l'intégrité de son caractère autant que sa valeur comme Ingénieur, il avait été appelé à toutes les Expositions qui se sont succédé depuis 1878, à faire partie des Jurys institués à leur occasion.

Le Gouvernement, en raison des services qu'il avait rendus à l'industrie française, l'avait élevé, en 1906, au grade d'officier dans l'ordre de la Légion d'honneur.

Ses Collègues et ses amis, membres de la Société, qui, l'ayant approché, ont été à même d'apprécier ses rares qualités, ont pensé devoir rappeler ici les mérites de ce Collègue, personnellement peu connu, bienfaisant et modeste, dont le nom, associé à celui de son collaborateur et intime ami Levassor, aura contribué à jeter sur la France un éclat dont notre Société ne saurait manquer de bénéficier elle-même.

DISCOURS PRONONCÉ AUX OBSÈQUES

DE

M. Jules GOUIN [1]

Président du Conseil d'administration de la Société de Construction des Batignolles

PAR

M. Paul BODIN

Administrateur de la Société de Construction des Batignolles
Ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France

---

Messieurs,

Quelques paroles prononcées sur une tombe sont peu de chose pour honorer toute une vie ; elles seraient peu de chose surtout pour évoquer la vie du grand industriel que fut M. Jules Goüin, si l'on ne pouvait la résumer par les simples mots d'intelligence, de labeur et de bonté. Ces qualités, si supérieures chez lui, prenaient un relief particulier dans la place éminente qu'il occupa. Elles expliquent l'autorité avec laquelle il présida pendant vingt-trois ans le Conseil d'administration de la Société de Construction des Batignolles, au nom duquel je viens lui rendre l'hommage d'un suprême adieu.

Aux dons qu'il avait reçus de la nature, il joignit, par son passage à l'École Centrale des Arts et Manufactures, un fonds solide de connaissances techniques. La perspective des responsabilités qui devaient un jour lui incomber l'avait ensuite porté vers l'étude des sciences financières et administratives qui doivent être familières à un chef d'industrie. Il suivit enfin la plus profitable des écoles, il écouta le meilleur des enseignements, du jour où son père, l'ayant appelé à ses côtés, l'initia, en le faisant passer par tous les grades hiérarchiques, au mécanisme de la puissante entreprise qu'était déjà la Société des Batignolles.

Je ne puis mentionner la grande figure que fut Ernest Goüin sans adresser un souvenir ému à sa mémoire vénérée. Aux

(1) Bulletin d'octobre 1908, page 555.

temps héroïques de l'industrie française, il avait fondé cette maison de construction, qu'il eut la joie de voir prospérer et dont la réussite dépassa ses rêves les plus ambitieux. Mais son suprême bonheur, au déclin de sa vie d'homme de travail et d'homme de bien, fut la certitude qu'après lui son fils continuerait son œuvre. Il savait, en effet, en quelles mains expertes il en laissait la direction et il se sentait revivre en ce fils qui, profitant trop tôt des enseignements paternels, fut appelé à lui succéder dès 1885 et renouvela la vie laborieuse et bienfaisante dont il avait eu le haut exemple.

M. Jules Goüin fit plus que de maintenir cette Société au point où il l'avait reçue : grâce à un constant effort, il lui donna le plus vaste développement que les progrès de la civilisation aient rendu possible. Avant lui, les entreprises extérieures étaient assez rares encore : il accepta les plus lointaines, portant sur les deux continents le renom des constructeurs français. L'éloignement de ces travaux ne l'a pas cédé à leur variété. La liste est longue des ports, des ponts et des chemins de fer qui furent étudiés et exécutés sous sa haute direction. L'importance des capitaux dont de telles entreprises nécessitent l'engagement l'avait amené à la création de plusieurs Sociétés pour lesquelles il ne ménageait ni sa vigilance ni son activité. Les Sociétés des chemins de fer de Bône à Guelma, de Dakar à Saint-Louis, de la Limagne, de la Corrèze, des Bouches-du-Rhône et d'autres encore, furent, sous leurs noms divers, comme les bataillons variés d'une immense armée.

A Paris même, dans ces ateliers qu'il agrandissait et perfectionnait sans cesse afin qu'ils maintinssent leur rang, il voyait naître les locomotives destinées à des Compagnies françaises et étrangères, à côté des affûts et des tourelles qui devaient armer nos forts et nos cuirassés.

Il dirigeait des milliers de bras, de ce Conseil d'administration à la tête duquel il a constamment montré une rare clairvoyance des affaires et une grande netteté dans les décisions, servies par une activité inlassable. Ces qualités, reconnues en toute occasion, ainsi que sa droiture et sa loyauté, faisaient rechercher ses avis dans les plus hautes assemblées : c'est ainsi qu'il avait l'honneur d'être Régent de la Banque de France.

Il aimait son travail, car il était profondément attaché à cette Société de Construction des Batignolles qui, jadis, portait son nom. Les moindres événements qui la concernaient retenaient

son attention ; il avait à son égard une sollicitude constante ; on peut dire qu'il lui a donné sa vie entière : sa dernière sortie fut pour elle et, sans aucun doute, elle a été mêlée à ses suprêmes pensées.

Et de même qu'il aimait sa Société, il en chérissait les serviteurs, les enveloppant tous, des premiers aux plus humbles, dans une seule affection.

On trouverait là le secret de cette bonté, accueillante à toutes les requêtes et pitoyable à toutes les infortunes, si les grandes œuvres auxquelles il laisse son nom ne prouvaient que la pratique de la bienfaisance lui était naturelle : une première libéralité en faveur des habitations ouvrières de Clichy, puis la royale aumône par laquelle il permit la fondation de l'*Hôpital et Dispensaire Goüin*, ont montré comment il entendait la philanthropie. Sa charité s'est aussi manifestée envers l'*Œuvre de Saint-Nicolas* pour l'éducation des jeunes garçons de la classe ouvrière, dont il a longtemps été l'Administrateur-trésorier. Enfin, l'adversité des anciens employés et ouvriers de la Société ne le laissait jamais indifférent.

Cette générosité n'était pas la seule de ses vertus privées : les siens pourraient dire quel époux, quel père il fut, et aussi quel chrétien profondément attaché à ses convictions.

Le tableau de cette vie montre bien que M. Jules Goüin n'a pas été seulement une grande intelligence, mais aussi un grand cœur. Et c'est pourquoi, devant la tombe de celui que j'aimais depuis tant d'années, ma douleur s'accompagne d'un très profond respect.

Un tel homme ne meurt pas tout entier ; demain, son œuvre sera reprise par ses fils, entourés d'un personnel dévoué ; ces ateliers, qu'il chérissait tant, s'animeront de nouveau ; c'est un peu sa vie qui continuera...

12 septembre 1908.

CHRONIQUES

N[os] 343-344

Sommaire. — Expériences faites sur une locomotive Mallet du Chemin de fer de l'Érié. — Les Chemins de fer de l'État Hongrois. — Étude des résistances passives des moteurs. — La force motrice pour les mines. — Les condensations centrales. — Le Congrès international de Géographie. — Les industries de l'âge de la pierre. — Le système métrique. — Chambres à air médicales.

Expériences faites sur une locomotive Mallet du Chemin de fer de l'Érié. — Ces essais ont été faits sur une des trois grosses locomotives compound articulées système Mallet, livrées en septembre 1907 au Chemin de fer de l'Érié par l'American Locomotive Company et dont nous avons parlé dans la chronique de décembre 1907, page 696. Nous renverrons à cette chronique pour les dimensions de ces machines, nous contentant de rappeler que ce sont actuellement les plus lourdes locomotives du monde ; leur poids, entièrement utilisé pour l'adhérence, s'élève en effet à 185 000 kg, tender non compris.

La machine soumise aux expériences avait six mois de service et n'avait, durant cette période, subi que des réparations insignifiantes ; elle était ce qu'on peut appeler en bonnes conditions, mais n'avait été nullement préparée pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

Les essais ont été effectués, la machine faisant son service régulier consistant à pousser les trains sur la forte rampe de Susquehanna, assez longue pour qu'on puisse faire les constatations propres à déterminer les résultats de fonctionnement. Cette rampe de 13 0/00 a 12 300 m de longueur. On n'a point opéré sur des trains spéciaux, mais bien sur des trains courants dont on n'avait même aucun moyen de connaître le poids net ; ces trains étaient remorqués par une locomotive ordinaire placée en tête, la machine soumise à l'essai étant en queue.

Les expériences ont été faites en relevant l'effort de poussée sur un dynamomètre, le travail des pistons par des diagrammes d'indicateur et en pesant le charbon et jaugeant l'eau dépensée. On a, en outre, déterminé la qualité de la vapeur à la sortie de la chaudière et dans le réservoir intermédiaire entre les deux groupes de cylindres.

Nous signalerons tout de suite que le dynamomètre placé entre la machine et le train n'avait pas une puissance en rapport avec celle de la locomotive travaillant au maximum ; mais il était suffisant pour enregistrer l'effort exercé pour remonter le train sur la rampe à la vitesse d'environ 10 km à l'heure.

Les conditions dans lesquelles ont été faits ces essais ne permettent pas de les considérer comme des essais de précision, mais, tels qu'ils ont été exécutés, ils ont donné des résultats qu'on peut considérer comme très intéressants et fournissant d'utiles renseignements sur divers points.

Nous allons indiquer d'une manière sommaire les procédés employés pour obtenir les diverses données.

Pesage du combustible. — Étant donné que la machine ne parcourait que 11 270 m en poussant le train et redescendait ensuite, période pendant laquelle elle ne consommait pas plus de 4 tonnes de charbon, on a pu employer une méthode très simple pour peser le combustible.

On a élevé une cloison en planches en travers de la soute à charbon, à 0,915 m en arrière des portes de la soute, et on a placé le charbon à consommer dans l'espace ainsi formé. On se servait d'une balance de Farnbanks, sur le plateau de laquelle était placé un récipient en tôle contenant environ 113 kg de charbon. Une sorte de couloir en tôle amenait le combustible dans le récipient lorsque deux hommes debout sur le tender le poussaient à la pelle dans le couloir. Une fois le contenu pesé, on le versait sur le parquet du chauffeur.

On pouvait ainsi obtenir très exactement le poids de charbon brûlé pendant l'essai. On sait que, dans ce genre de recherches, le point le plus délicat est d'avoir le feu dans le même état au commencement et à la fin de l'expérience. Comme la durée de celle-ci était courte et qu'il fallait avoir un feu très actif au départ, ce point avait une influence considérable. Pour cette raison, on a dû écarter les résultats de l'essai n° 2, qui ne présentaient pas une garantie suffisante.

Jaugeage de l'eau d'alimentation. — Pour apprécier la dépense d'eau, on a jaugé avec soin la caisse à eau du tender et on lui a appliqué une échelle divisée en pouces. On mesurait l'eau au départ en tenant compte de la pente sur laquelle était la machine, et à l'arrivée où celle-ci était de niveau. On s'arrangeait de manière que le niveau de l'eau dans la chaudière fut exactement le même et on mesurait les pertes d'eau par l'injecteur pour les déduire de la consommation. Il n'y avait pas de corrections à faire pour la vapeur perdue par les soupapes de sûreté ou consommée par la pompe à air du frein, ni par le souffleur ; ces appareils accessoires ne fonctionnaient pas pendant les essais. Il n'y avait pas de fuites à la chaudière et on pouvait être sûr que toute la vapeur produite passait par les cylindres, sauf la proportion tout à fait insignifiante absorbée par le sifflet.

Calorimètres. — La qualité de la vapeur, c'est-à-dire la proportion d'eau entraînée, était mesurée par des calorimètres à étranglement ; les thermomètres et manomètres employés dans cette opération étaient soigneusement vérifiés avant et après chaque essai. La vapeur à haute pression était vérifiée à la sortie de la chaudière. La vapeur traversant le receiver était prise à titre d'échantillon dans la culotte placée près de cylindres à basse pression ; les tuyaux allant aux calorimètres étaient recouverts de feuilles d'amiante de 12 mm d'épaisseur. On relevait les indications données par les calorimètres en même temps que les diagrammes d'indicateur et les autres observations.

Indicateurs. — Les indicateurs étaient placés sur des bouts de tuyaux de 19 mm de diamètre intérieur ayant des coudes du plus grand rayon possible et ajustés sur des orifices pratiqués sur les cylindres. Ces

tuyaux étaient recouverts d'amiante retenue par une toile. Il n'y avait qu'un indicateur par cylindre, un robinet à trois voies permettant de lui faire relever à volonté des diagrammes sur l'une ou l'autre des extrémités du cylindre. La longueur des tuyaux était, pour les cylindres à haute pression, de 0,915 m et, pour les cylindres à basse pression, de 1,37 m.

Le dispositif de réduction de course était formé par une poulie donnant environ 89 mm comme longueur de diagramme. On décrochait facilement la corde entre la poulie et l'indicateur pour mettre les papiers en place ; cette corde s'attachait à une pièce fixée sur la crosse du piston.

Cet arrangement fonctionnait bien, mais donnait lieu à de sérieuses difficultés lorsque la machine patinait pendant plusieurs tours ; pour éviter ces ennuis, on ne commençait à relever le diagramme que lorsque la machine était bien en route, le patinage ne se produisant guère qu'au démarrage.

Gaz de la combustion. — On mesurait l'aspiration dans la boîte à fumée au moyen d'un manomètre à eau raccordé par un tube en caoutchouc avec un tube de 18 mm pénétrant dans la boite ; ce tube était perforé sur toute sa longueur de trous de 3 mm de diamètre placés suivant une hélice avec 75 mm d'écartement.

On prenait les gaz pour les analyser par un tube de 18 mm, percé de trous et disposé transversalement dans la boîte à fumée. L'analyse se faisait avec un appareil Orsat placé dans le wagon dynamométrique. On recherchait les proportions d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et d'oxygène, l'azote était obtenu par différence.

Compteur de tours. — Un compteur de tours était disposé sur chaque train et actionné par le mécanisme de distribution ; on relevait toutes les minutes les indications de ces compteurs.

Autres appareils. — On relevait les pressions à la prise de vapeur et au receiver au moyen des manomètres des calorimètres dont il a été qnestion ci-dessus, une soupape permettant de séparer le calorimètre lorsqu'on voulait faire une observation de pression. Pour faire l'analyse du combustible, on prenait un échantillon sur 20 kg, gros et fin, écrasé sur la plate-forme, bien mélangé, et dont 0,453 kg étaient pris et conservés dans un bocal en verre cacheté, pour être analysé au laboratoire de l'Université de Cornell.

On mesurait la température de l'eau d'alimentation au commencement et à la fin de chaque parcours. La pression à la chaudière, la durée du fonctionnement de l'injecteur, l'ouverture du régulateur et la position du levier de changement de marche, étaient notés par un agent placé dans l'abri du mécanicien. On donnait au moyen d'un bref coup de sifflet le signal pour relever les diagrammes d'indicateur.

Wagon dynamométrique. — On s'est servi du wagon du chemin de fer de l'Érié dont le dynamomètre est à ressort et peut marquer un effort maximum de 31 710 kg (70 000 livres). Le traceur marque directement la flexion du ressort par l'intermédiaire de leviers traversant le

plancher du wagon. Le papier est actionné par un essieu des roues à une vitesse de 1 pied pour 1 mille, soit 0,189 m pour 1 km. Comme contrôle, on notait le passage aux poteaux de milles au moyen d'un chronomètre. La prise des diagrammes était indiquée sur le papier ainsi que d'autres observations par un traceur électrique.

La faiblesse relative du dynamomètre qui, au départ, aurait été écrasé par les efforts violents de la locomotive, exigeait qu'on détachât l'appareil enregistreur du ressort dans ces périodes, le ressort étant bloqué dans ce cas : il résulte de cette condition quelque incertitude, mais elle n'a pas d'influence sur l'ensemble des résultats.

On s'est servi d'un pyromètre à gaz et à cadran pour mesurer la température des gaz dans les tubes, mais les résultats paraissent si peu exacts qu'on préfère n'en pas tenir compte.

La note que nous trouvons dans l'*American Engineer and Railroad Journal* sur ces essais, donne les trois graphiques relatifs aux diverses observations. Nous nous contenterons de reproduire les résultats les plus intéressants sous forme de tableaux dont nous avons condensé les éléments d'après les tableaux très étendus qui accompagnent le mémoire.

Nous devons indiquer que la vitesse qui n'est pas marquée dans les tableaux a été de 9,66 km à l'heure pour les deux premiers essais, et de 8,05 pour le dernier,

Le premier des trois essais a été le meilleur au point de vue des résultats économiques ; le dernier, au contraire, a laissé à désirer, parce que la machine était, à ce moment, entre les mains d'un chauffeur très médiocre. Dans les trois essais, il n'a été employé qu'un seul chauffeur pour le service de la chaudière.

On remarquera que la dépense de vapeur par unité de puissance peut être considérée comme élevée pour une machine compound. Le rapport attribue ce fait à ce qu'il y avait dans les cylindres des fuites considérables de vapeur dont on n'a pu tenir compte, les essais ayant été faits sans avertissement préalable et dans l'état où se trouvait la machine.

On remarquera la qualité remarquable de la vapeur, c'est-à-dire son état de siccité, la proportion d'eau maxima à la sortie du régulateur n'étant que de 2,39 0/0 et la proportion minima de moins de 1 0/0.

Le fait que la chaudière fonctionnait à une allure très modérée y est probablement pour quelque chose, mais il est intéressant de faire remarquer que la vapeur était, dans le réservoir intermédiaire, aussi sèche, sinon plus qu'à la sortie de la chaudière, malgré le grand développement de tuyaux et de passages entre les deux groupes de cylindres. Nous regrettons de ne pouvoir reproduire ici ni les diagrammes d'indicateur, ni les tracés obtenus au dynamomètre. Ceux de nos Collègues que que la question intéresse les trouveront dans le numéro de l'*American Engineer and Railroad Journal*, de juin 1908, dans lequel le rapport est donné *in extenso*. A propos des diagrammes de l'effort de traction ou plutôt de poussée obtenu du dynamomètre, le rapport insiste sur la très grande réduction qu'a jouée sur le patinage la division de la puissance motrice en deux groupes, par suite de l'effet de freinage opéré par un groupe sur l'autre.

TABLEAU I.

NUMÉROS DES ESSAIS	NOMBRE DE TOURS MOYEN		PRESSION			VIDE DANS LA boite à fumée	EAU DÉPENSÉE			EFFORT DE TRACTION sur le dynamomètre
	TRAIN AV	TRAIN AR	CHAUDIÈRE	RÉGULATEUR	RECEIVER		BRUTE	PERTES	NETTE	
1. . . .	40	40	14,2 kg	13,0 kg	»	119 mm	19 600	230	19 430	29 000
2. . . .	43	40	14,2	12,1	3,55 kg	127	18 240	250	17 990	29 900
2. . . .	33	33	13,8	13,5	3,96	114	22 160	430	21 730	29 000

TABLEAU II.

NUMÉROS DES ESSAIS	TRAVAIL EN CHEVAUX INDIQUÉS					TRAVAIL dynamométrique	DIFFÉRENCE	RÉSISTANCE 0/0 de la machine	QUALITÉ DE LA VAPEUR	
	TRAIN AV	TRAIN AR	DROITE	GAUCHE	TOTAL				A LA SORTIE de la chaudière	AU receiver
1. . . .	515	626	565	576	1 141	1 021	120	11	99,08 0/0	»
2. . . .	504	508	504	508	1 012	889	123	12	97,65	98,05 0/0
3. . . .	452	434	452	442	886	710	176	20	98,39	98,14

TABLEAU III.

NUMÉROS des essais	DÉPENSE PAR HEURE et cheval indiqué		DÉPENSE PAR HEURE et cheval dynamométrique		CHARBON par heure et m² de grille	EAU par heure et m² de surface de chauffe	VAPORISATION
	CHARBON	EAU	CHARBON	EAU			
1. . .	1,95	16,85	2,17	18,84	240	38,8	8,64
2. . .	»	16,71	»	19,21	»	33,8	»
3. . .	1,90	13,13	2,54	16,03	200	22,9	6,91

Le combustible employé était un charbon gras assez médiocre contenant 52,8 de carbone fixe, 28,4 de matières volatiles et 15,7 0/0 de cendres, plus 3,1 0/0 d'humidité. Le pouvoir calorifique de ce charbon est indiqué comme de 6 040 calories.

L'analyse des gaz de la combustion a donné, pour les deux derniers essais, les résultats suivants :

	Essai 2.	Essai 3.
Oxygène	4,08 0/0	8,86 0/0
Oxyde de carbone	0,36	1,12
Acide carbonique	12,68	9,68
Azote (par différence). . .	82,67	80,34

Les essais dont nous venons de parler ont été faits par des élèves de l'Université de Cornell et par le personnel spécial du Chemin de fer de l'Érié.

Les chemins de fer de l'État Hongrois. — En 1847, il y avait en Hongrie 225 km de voies ferrées en exploitation; au commencement de 1905, il y en avait 18 000. Sur ce total, 7 680 km appartenaient à l'État et étaient exploités par lui, 7 130 km de lignes locales étaient sous le contrôle de l'État, 1 340 km de lignes principales et 1 850 km de lignes secondaires appartenaient à des entreprises privées et étaient exploitées par elle.

En général, la plus grande partie de ces lignes sont de niveau et les plus grandes déclivités ne dépassent pas 5 0/00, mais sur une faible partie, dans les régions montagneuses, les inclinaisons atteignent 25 0/00. Les courbes sont presque toujours de grand rayon. Le minimum sur les lignes principales descend à 270 m, sauf dans de rares exceptions où cette limite est dépassée.

La plus grande partie du développement est à voie unique ; mais les lignes les plus importantes sont à double voie, par exemple celles de Budapest-Pozsony-Marchegg (frontière autrichienne); Budapest-Hatvan-Miskolcz-Szerencs-Legenye-Mihaly (frontière) ; Budapest-Kelanfold-Gyor ; Budapest-Czegled ; Ujszasz-Szolnok-Szajol ; Hatvan-Salgotarjan et Lipotvar-Vagujhely, d'une longueur totale de 1 0000 km environ.

La voie est en rail du type Vignoles, en acier Bessemer et Martin pesant 43 kg par mètre courant pour les lignes à grand trafic et seulement 26 à 38 kg pour les lignes principales à trafic ordinaire. Pour les lignes secondaires à voie normale et pour les chemins de fer légers, le poids des rails varie de 17,5 à 25,5 kg et, pour les lignes à voie étroite, de 10,5 à 15 kg.

La voie normale est à l'écartement ordinaire de 1,435 m et les voies réduites à ceux de 1 m et 0,76 m.

Les traverses sont généralement en chêne, espacées de 0,91 à 0,78 m de centre en centre, selon l'échantillon des rails. Depuis 1884, on se sert de traverses en hêtre injectées, ces traverses se rencontrent dans une proportion de 20 0/0. Le pin, au contraire, est extrêmement peu employé. Les ateliers pour la préparation des traverses sont à Nagyvarad, Nooska et Perecseny ; ils peuvent injecter 900 000 traverses par an. Ajoutons qu'on a posé sur certaines parties des lignes des traverses en acier embouti.

Sur les lignes principales, on admet, pour les locomotives, des charges de 16 t par essieu. Le matériel de traction compte 3200 locomotives, ce qui représente seulement 0,172 par kilomètre. Ce chiffre est très faible et s'explique par la forte proportion de simple voie et le peu d'intensité du trafic. Il y a 6 600 voitures à voyageurs, soit 0,363 par kilomètre, et 72 970 wagons à marchandises ou quatre environ par kilomètre. On compte aussi quelques voitures automotrices de différents systèmes. Les chemins de fer de l'État ont commencé à les employer en 1903 en commençant par le type de Dion-Bouton, puis par ceux de Komarek et de Stoltz, tous à vapeur.

On se sert pour eux de charbon d'Ostrau, qui est le plus convenable, mais qui doit être importé ; aussi les ateliers de Budapest ont-ils récemment essayé l'huile de paraffine pour les automotrices de Dion-Bouton. On a fait aussi l'essai de voitures consommant des huiles lourdes, mais le prix relativement élevé de ce combustible ne permet pas d'obtenir de bons résultats au point de vue économique. On a aussi essayé des voitures électriques. Il y a actuellement une quarantaine de voitures automotrices en service.

Les types de locomotives employés sont nombreux. On compte beaucoup de compound-tandem à quatre cylindres et de compound à deux cylindres, que les ateliers de Budapest construisent depuis 1883. Plus récemment, on introduisit le type équilibré à quatre cylindres agissant sur le même essieu ; c'est aujourd'hui le modèle normal pour les locomotives de trains express. Pour les express des lignes de montagnes, on emploie de préférence le type compound articulé Mallet ; de puissantes machines de ce système, avec des essieux chargés à 16 t, ont été faites récemment aux ateliers de Budapest ; elles remorquent sur rampes de 25 0/00, à la vitesse de 32 km à l'heure, des trains de 250 t en passant dans les courbes de 280 m de rayon de ces lignes.

Sur les inclinaisons de 50 0/00, on a recours à la crémaillère et aux locomotives Abt. Sur les lignes à voie étroite, on se sert du système Klien-Lindner à essieux accouplés convergents. Sur les chemins à voie de 0,76 m de Bosnie, on emploie le système articulé de Klose. Sur les

chemins de fer légers et lignes locales, on rencontre des locomotives compound à cinq essieux qui atteignent des vitesses de 50 km à l'heure.

On essaye en ce moment sur les locomotives de trains express le foyer à tubes d'eau de Brotan et le surchauffeur Pielock et on sera probablement bientôt fixé sur les résultats.

Le chemin de fer de Kassa-Oderberg a fait construire récemment des machines du type *Prairie*, dont quelques-unes avec le surchauffeur Clench Gölsdorf. Ces locomotives sont faites aux ateliers des chemins de fer de l'État, à Budapest, et l'État hongrois se propose d'employer le même modèle, mais avec des roues plus petites. En somme, au commencement de 1905, le matériel roulant des chemins de fer de l'État hongrois et des lignes locales exploitées par l'État comptait 2 685 locomotives, 40 voitures automotrices, 5 580 voitures à voyageurs et 62 200 wagons à marchandises.

Les premières voitures à voyageurs de 1846 étaient du modèle américain avec couloir central, portées sur quatre roues. Plus tard, les voitures furent divisées en deux compartiments et portées sur quatre ou six roues et, sur quelques lignes, on employa des voitures à deux étages, analogues à celles dont on se sert dans la banlieue de Paris. L'éclairage était opéré par des lampes à huile et le chauffage par des bouillottes, dans les voitures de première classe, et par des poêles dans celles de troisième. En 1874, on introduisit le type de Rathgeber, où les voitures contenaient des compartiments et des salons et, en 1881, des voitures à couloir central avec toilettes; ces véhicules, avec couloir latéral, furent, quatre ans plus tard, définitivement adoptés pour les trains faisant des parcours à grande distance. Depuis cette époque, on a perfectionné les voitures en y introduisant l'intercommunication, le chauffage à la vapeur, les freins continus automatiques, l'éclairage au gaz et à l'électricité, les signaux d'alarme, les ventilateurs, les toilettes etc., sans lesquels on ne comprendrait pas, aujourd'hui, les wagons-lits et les wagons-salons. Les voitures actuelles à bogies sont exceptionnellement vastes et commodes.

Les wagons à marchandises étaient, à l'origine, exclusivement construits en bois, tandis qu'actuellement la carcasse est en fer, leur capacité a passé de 16 à 20 t. On essaye actuellement des wagons de 30 t. On fait des wagons de diverses sortes, suivant les marchandises transportées; ainsi, il y en a pour les raisins, pour les liquides, la viande, la volaille, les grains, les fruits, les bestiaux, etc., quelques-uns avec installations réfrigérantes.

Le Département de la traction possède des wagons d'essai, dont un avec dynamomètre Digeon et appareils divers d'enregistrement et un autre avec des appareils Kapteyn pour le contrôle des freins.

Pour l'entretien et les réparations du matériel roulant, les chemins de fer de l'État possèdent cinq ateliers principaux et plusieurs secondaires pour les petites réparations et les deux autres chemins de fer de Kassa-Oderberg et le Sud Austro-Hongrois ont a eux deux six ateliers.

Les ateliers de réparation les plus importants des lignes de l'État sont ceux de Budapest, qui emploient 1 700 ouvriers, et ceux de Istvantelek, qui en emploient 1 350. Le total des ouvriers des ateliers de réparation

atteint le chiffre de 8000; il ne comprend pas, toutefois, les ateliers de construction des chemins de fer de l'État.

Ces derniers, en ce qui concerne la construction des locomotives, peuvent suffire aux besoins de tous les chemins de fer de la Hongrie et fournir encore une certaine proportion de machines pour l'extérieur. La production maxima a été en 1896, où elle a atteint le total de 173 locomotives.

Les ateliers de Budapest sont remarquablement installés, notamment pour la fabrication des chaudières. On commence à employer les châssis américains en barres faits en acier coulé ; le succès qu'ont eu ces châssis en Bavière les a fait essayer en Hongrie; on obtient un effort de rupture de 45 à 50 kg par millimètre carré avec un allongement de 15 0/0.

On emploie pour les chaudières des tôles d'acier Martin provenant des forges de Dissgyor. Il est assez curieux qu'on se sert depuis 1891 des centres de roues en acier coulé; les bandages proviennent des aciéries de Resicza. A l'origine, on ne se servait que d'essieux moteurs droits, les machines étant exclusivement à cylindres extérieurs, mais, depuis l'introduction des locomotives à quatre cylindres équilibrés, on emploie les essieux coudés à bras central oblique.

Étude des résistances passives des moteurs. — Notre savant collègue, M. A. Witz, a publié, dans la *Lumière Électrique*, une très intéressante étude sur les résistances passives des moteurs, étude dans laquelle il propose une méthode extrêmement simple pour apprécier la valeur de ces résistances. Nous pouvons dire tout de suite que cette méthode est basée sur un principe analogue à celui de la méthode employée à l'origine pour mesurer la résistance des véhicules sur voie ferrée et qui consiste à lancer un véhicule à une vitesse donnée sur une voie de niveau et à relever le temps au bout duquel il s'arrête, après que l'impulsion qui lui a été donnée a cessé.

M. Witz fait observer qu'un moteur à vapeur, à gaz ou électrique, étant lancé à sa vitesse normale de régime, si l'on vient à supprimer instantanément la puissance motrice, continuera à se mouvoir jusqu'à ce qu'il ait épuisé l'énergie accumulée dans les organes et il effectuera un certain nombre de tours dans un temps déterminé, la vitesse angulaire décroissant jusqu'à devenir nulle, suivant une loi qui dépend de la constitution du mécanisme et caractérise sa valeur et son état. L'observation du mouvement du volant jusqu'à son arrêt fournit d'importantes données relatives à la dynamique du moteur.

L'auteur expose que les vitesses exprimées par le nombre de tours n, effectués dans l'unité de temps au bout d'un temps t, compté à partir de la suppression de l'impulsion motrice, peuvent être calculés par une formule de la forme :

$$n = at^2 - b^2 + c,$$

dans laquelle a, b et c sont des coefficients différents d'un moteur à l'autre et qu'il est aisé de déterminer dans chaque cas. En effet, au départ, on a $c = N_0$, N_0 étant la vitesse du lancé. Lorsque le moteur

s'arrête, au bout d'un t_N, après avoir effectué N tours, N est devenu égal à 0 et l'on a :

$$0 = at_N^2 - bt_N + c.$$

Il suffit donc de compter N et t_N et d'y joindre une seule observation de la vitesse au bout d'un temps t pour avoir tous les éléments du calcul de a, b et c.

Si on remarque, de plus, que la valeur du coefficient a est toujours faible et qu'elle est quelquefois même négligeable, on peut simplifier l'équation et la réduire à la forme :

$$a = b't + c.$$

Dans ce cas, on a $c = N_0$ et $b' = \frac{c}{t_N}$ et il suffit de connaître la vitesse initiale du lancé et la durée t du mouvement.

La méthode est particulièrement intéressante pour la détermination du rendement organique des machines, détermination qui présente souvent beaucoup de difficultés et d'incertitudes. On calcule, comme on sait, ce rendement par le rapport de la puissance effective à la puissance indiquée. La première s'évalue généralement par le frein ; or, il est rare qu'on puisse monter une poulie de frein sur l'arbre de puissants moteurs et, en outre, ce genre d'expériences présente de grandes difficultés.

La mesure de la puissance indiquée comporte des incertitudes qui rendent les résultats obtenus souvent insuffisamment précis. On ne doit donc pas s'étonner que dans des essais également soignés, effectués sur des moteurs de même importance et de même valeur, on trouve des valeurs de rendements organiques très différentes.

Ainsi, M. Witz a trouvé, dans les expériences faites avec M. Hubert sur un moteur à gaz de hauts fourneaux de 1 450 ch, de la Société Cockerill, un rendement organique de 0,934 en pleine charge, tandis que le professeur Riedler a constaté, sur un moteur de la Société de Nuremberg, de dimensions équivalentes, un rendement ne s'élevant qu'à 0.831.

La méthode proposée par M. Witz est, au contraire, d'une grande simplicité et d'une précision suffisamment rigoureuse.

Voici un exemple de son application :

Un moteur à gaz de hauts fourneaux, à deux cylindres à double effet disposés en tandem, de 0,80 m de diamètre (tiges des pistons, 0,20 m) et de 1 m de course, réglé à 100 tours, porte sur son arbre de couche l'induit d'une génératrice à courant continu et un volant ultra-lourd, pesant 25000 kg, calculé pour fournir un coefficient d'irrégularité égal à $\frac{1}{120}$; la puissance normale du moteur est de 850 ch effectifs et celle du groupe de 600 kw.

Un essai a fourni les résultats suivants :

Vitesse moyenne : 106 tours par minute ;

Pression moyenne aux diagrammes : 4,57 kg ;

Puissance indiquée : 1 015 ch ;

Puissance du groupe : 560 kw ;
Chevaux électriques : 761,2 ;
Rendement électrique de la génératrice, 0,935 ;
Puissance du moteur : 813,9 ch effectifs ;
Rendement organique : $\frac{813,9}{10\ 15} = 0,80$.

Voici, maintenant, le calcul du rendement sur les données d'un lancé :

Vitesse initiale N_0 : 105 tours par minute ;
Le volant effectue $N = 106,5$ pour épuiser son énergie ;
Le PD^2 du volant et de l'induit est égal à 666335 (kgm^2) ;
$K = \frac{666335}{4 \times 9,81} = 16,981$;
$W = 0,0055 \times 16,981 \times \overline{105}^2 = 9,677$ kgm par tour.

Or, au régime de 106 tours, pratiqué au cours de la prise des diagrammes, le moteur effectuait 1,776 révolutions par seconde et $9677 \times 1\ 776 + 17\ 089$ kgm par seconde.

Ce travail équivaut à une puissance de 227,8 ch, laquelle est nécessaire pour faire effectuer au moteur en pleine charge. 106 tours par minute.

En réglant convenablement le mélange, on obtient aisément avec ce moteur 850 ch effectifs, c'est sa puissance normale ; le rendement organique est dès lors égal à $\frac{850}{850 + 227,8} = 0,79$. Le rendement calculé de la sorte est donc extrêmement rapproché de celui qui a été trouvé ci-dessus par la comparaison directe du travail effectif au travail indiqué.

M. Witz a été plus loin ; disposant d'un groupe électrogène identique voisin, il a pu faire fonctionner le premier en réceptrice. Il a constaté qu'un courant de 502,5 ampères, par 400 volts, correspondant à une puissance de 201 kw, faisait prendre à la machine une vitesse uniforme et soutenue de 95,6 tours par minute. A cette charge réduite du moteur, son rendement électrique avait été trouvé égal à 0,82 ; les 201 kw équivalaient donc à une puissance effective de la machine à gaz de $201 \times 0,82 = 164,8$ kw et on voit qu'il faut 225 ch pour maintenir le groupe à une vitesse de 95,6 tours. On avait trouvé 227,8 ch pour 100 tours. A la puissance normale du groupe de 600 kw par 100 tours, le rendement serait, par suite, de $\frac{600}{600 + 164,8} = 0,785$.

La concordance de ces chiffres parait donc justifier l'emploi de la méthode proposée par M. Witz, puisque le rendement organique qu'elle donne a une valeur comprise avec un très faible ecart entre les deux autres, déterminées par des moyens entièrement différents.

La force motrice pour les mines. — M. A. N. Preece a fait à l'*Institution of Civil Engineers*, une intéressante communication sur l'alimentation des mines en force motrice dont voici un résumé :

Actuellement la question de la fourniture de la force motrice en

grandes quantités sous forme électrique pour les industries qui en consomment beaucoup, excite vivement l'attention en Allemagne, en Angleterre et dans le Sud de l'Afrique. Dans le nord de l'Angleterre, la compagnie de Newcastle fournit la force à bas prix à beaucoup de gros consommateurs et elle prétend qu'aucune grande usine ne pourrait produire l'électricité à un prix plus bas que celui que demande cette compagnie.

Une installation semblable, faite pour un autre but, est projetée pour Londres. Les prix fixés varient suivant le facteur de charge et le tableau ci-dessous donne la série des prix basés sur un tarif de 90 f par kilowatt demandé et 0,02 f par unité consommée.

Heures par jour	Facteur de charge		Prix par unité
—	0/0		f
3	12,5	»	0,10
5	20	»	0,068
8	33,5	»	0,050
12	50	»	0,040
24	100	»	0,030

Ces prix sont pour des courants à haute tension et le prix net pour une mine, pour du courant transformé, serait un peu plus élevé.

L'auteur pense que dans les travaux courants d'une mine, le facteur de charge ne doit pas dépasser 40 0/0 et que, par suite, le coût minimum par unité ne saurait, en Angleterre, être inférieur à 0,045 f. Dans les mines d'or, au contraire, par suite de l'emploi de force motrice pour divers usages, tels, par exemple, que la mise en marche des moulins à broyer, le facteur est probablement supérieur à 40 0/0.

La dépense à faire pour l'installation d'une station pour fournir le courant électrique à une mine dépend beaucoup de la situation de la mine et aussi du moteur à employer. Il est bien entendu qu'on ne considère ici que de grandes installations, car il n'y a qu'elles que puissent lutter pour le prix de la force motrice avec les établissements spéciaux ou stations centrales. On n'aura donc pas à considérer ici l'emploi des moteurs à pétrole et on ne s'occupera que des machines à vapeur et des moteurs à gaz. De plus, pour ces derniers on laissera de côté les systèmes de gazogènes à aspiration dont l'importance de l'installation écarte l'usage.

L'auteur estime que la dépense de premier établissement nécessaire pour équiper des stations centrales de 3 000 et 6 000 kilowatts, soit avec des turbines à vapeur, soit avec des moteurs employant des gaz de gazogènes ordinaires, peut être admise comme suit par kilowatt.

Capacité	Moteurs à gaz	Machines à vapeur
kilowatts	f	f
3 000	425	275
6 000	390	250

La station récemment établie aux houillères de Powell-Duffryn, dans le Sud du Pays de Galles a coûté, d'après un renseignement donné

par le *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, en 1903, 287,50 f par kilowatt. Cette station comprend une unité de 1 500 et deux de 750 kilowatts avec chaudières et machines compound horizontales à condensation par injection.

L'installation est très simple et est un bon modèle de ce qu'on peut faire dans une houillère. La même compagnie installe dans une autre mine une station avec moteurs à gaz et il sera intéressant de comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

Les moteurs à gaz prennent en ce moment un grand développement à la faveur de leur association avec les fours à coke et les hauts fourneaux qui leur fournissent le gaz. Le gazogène Mond est aussi largemen employé lorsqu'il y a un débouché pour les sous-produits et si on peut avoir facilement des charbons gras de médiocre qualité. Il est à la connaissance de l'auteur que dans un district de Westphalie, il a été créé une société qui fonctionne déjà et cela dans le but de reueillir les gaz des hauts fourneaux et fours à coke et de les utiliser pour la mise en marche de grandes installations électriques destinées à fournir de la force motrice dans le district.

On emploie pour les grandes stations d'électricité, des moteurs à deux temps et à quatre temps, donnant environ 1 000 chx par cylindre. Il me semble pas qu'il y ait encore en service des moteurs de plus de 2 000 chx. La tendance paraît être pour les unités à un seul coude moteur qui semblent plus simples et conviennent très bien pour actionner des dynamos. Il n'y a d'ailleurs aucune difficulté à accoupler plusieurs de ces moteurs.

Le coût de l'électricité dépend du facteur de charge et cette question joue un grand rôle dans le choix du système à adopter. L'emploi du gaz des fours à coke dans une houillère conduit à une production très économique de l'électricité pourvu qu'on ait une demande régulière. Ceci correspond à un facteur de charge élevé et, comme il n'est point facile d'emmagasiner les gaz, il ne faut pas compter sur des résultats favorables si le facteur de charge est peu élevé.

Un moteur à gaz consomme par kilowatt environ 2800 l de gaz de gazogène et une tonne de menu produit de 3360 à 3600 mm de gaz. Il en résulte qu'une tonne donnera de 1200 à 1500 kilowatts-heure. Il est difficile d'obtenir, même dans les meilleures conditions, de machines ou turbines à vapeur marchant à condensation, 1 kilowatt-heure pour 1,13 kg en comptant 6,10 kg de vapeur par kilowatt-heure et 6 kg de vapeur par kilowatt de menu brûlé sous les chaudières. Il en résulte qu'une tonne de combustible produira, avec une machine à vapeur moins de 1000 kilowatts-heure, d'où on doit conclure que le moteur à gaz qui donne de 1200 à 1500 kilowatts-heure est plus économique au point de vue de la dépense de combustible.

Mais cette question n'est pas la seule. Il faut y ajouter l'intéret et l'amortissement du capital et la main-d'œuvre et les réparations.

L'auteur estime que l'intérêt et l'amortissement sont les points les plus importants à considérer pour les mines, parce qu'on a toujours besoin d'argent pour les développer. Les actionnaires recherchent des dividendes élevés pour les mines qui n'ont pas une longue existence assurée et l'intérêt sur le capital est une considération sérieuse. Il ne

semble pas qu'un taux de 7,5 0/0 soit excessif. Quant à l'amortissement, le chiffre de 2,5 paraît être le minimum qu'on puisse admettre. Il en résulte que chaque somme de 100 f dépensée dans une installation pour mine coûtera par an 10 f d'intérêt et amortissement.

Le tableau suivant montre l'influence de cette somme de 10 f sur le coût de l'unité avec divers facteurs de charge.

COUT par KILOWATT	10 0/0 PAR AN	COUT PAR UNITÉ POUR DIVERS FACTEURS DE CHARGE			
		75 0/0	50 0/0	30 0/0	20 0/0
f	f	f	f	f	f
250	25	0,006	0,008	0,013	0,02
500	30	0,011	0,016	0,026	0,04

En ce qui concerne le combustible, il est très difficile de rien dire de précis, parce que le coût dépend non seulement des prix à la mine, mais encore d'autres conditions.

Voici cependant un tableau donnant les dépenses de ce chef obtenues avec des machines à vapeur; on pourra compter 25 0/0 de moins avec des moteurs à gaz.

FACTEUR de CHARGE	CHARBON par UNITÉ	COUT PAR UNITÉ AVEC LES PRIX DU CHARBON DE			
		8 f	7,50 f	10 f	12,50 f
0/0	kg	f	f	f	f
75	1,35	0,006	0,010	0,013	0,016
50	1,60	0,007	0,011	0,015	0,018
30	1,80	0,008	0,012	0,017	0,021
20	2,00	0,009	0,014	0,019	0,024
10	2,25	0,010	0,016	0,021	0,027

On suppose qu'il s'agit de charbon de bonne qualité. Si on emploie, au contraire, des menus de basse qualité, le prix descendra probablement au-dessous de 5 f la tonne et le résultat final ne variera pas sensiblement.

Le troisième chapitre concerne la main-d'œuvre et les réparations, pour lesquels les chiffres varient beaucoup. Les idées sont très différentes relativement au personnel technique nécessaire. L'auteur est d'avis que la dépense nouvelle d'une installation de ce genre est à peu près indépendante du facteur de charge. Quelle que soit la durée du

travail, il faut toujours une équipe de jour et une de nuit. Si la station ne fonctionne pas à pleine charge, elle fonctionne cependant et nécessite de la surveillance et l'importance des réparations n'est pas en rapport avec la fraction de charge qui correspond au travail moyen. Voici quelques chiffres à ce sujet :

	Coût annuel par kilowatt installé.
Grandes installations	25,00 f
Installations moyennes 3 500 kilowatts . .	37,50
Petites installations 1 000 kilowatts . . .	50,00

On arrive ainsi aux chiffres suivants :

COUT PAR AN	COUT PAR UNITÉ AVEC LES FACTEURS CI-DESSOUS			
	75 0/0	50 0/0	30 0/0	20 0/0
f	f	f	f	f
25,00	0,006	0,008	0,013	0,020
37,50	0,009	0,012	0,019	0,030
50,00	0,012	0,016	0,026	0,040

Les tableaux précédents permettent de se faire une idée approximative du coût maximum auquel on peut obtenir l'unité. Si on admet qu'une mine peut dépenser 2 500 kilowatts avec du charbon coûtant 7,50 f la tonne avec des facteurs de 20 0/0 et 50 0/0 on trouve :

	Facteurs 20 0/0	Facteurs 50 0/0
Intétêt et amortissement	0,020	0,008 f
Charbon à 7,50 f la tonne . . .	0,014	0,011
Main-d'œuvre et réparations . .	0,030	0,012
TOTAUX	0,064	0,032 f

La marge en dessous du prix demandé par une Société de fourniture de force motrice avec un facteur de 20 0/0, serait probablement si faible, qu'il y aurait avantage à s'adresser à cette Société. Mais le prix pourrait être notablement plus élevé, à cause de la dépense pour rémunérer le capital, et des divers frais. Ainsi, le prix peut atteindre 0,10 f par unité, comme dans le cas d'une mine du Sud de l'Afrique. M. Spack, dans le mémoire déjà cité, dit que, dans le cas des houillères de Powell Duffryn, le coût, avec un facteur de 37 0/0, s'est élevé à 0,036 f, mais on espère pouvoir le réduire à 0,03 f.

Une mine d'or qui emploie beaucoup de force à la surface, pour la

mise en œuvre de pilons, élévateurs, etc., de même que pour l'extraction et les laveries, aura probablement un facteur élevé. Mais généralement elle paye cher le combustible et la main-d'œuvre et les intérêts du capital; il paraît difficile que, dans ces conditions le prix par unité descende au-dessous de 0,075 f.

Les chiffres suivants, qui font voir le peu d'économie des moteurs séparés, sont ceux donnés par une mine de l'Afrique du Sud :

	Coût par cheval-heure.	Coût équivalent par unité.
	—	—
Machine d'extraction. . . .	0,130	0,200 f
Pilons	0,053	0,081
Éclairage	0,063	0,097
Compresseurs	0,051	0,078
Pompes.	0,072	0,110

Dans cet exemple, les pilons et les compresseurs marchent à charge constante, d'où vient leur fonctionnement relativement économique.

Les condensations centrales. — Nous avons traité cette question dans les Chroniques d'octobre et novembre 1899, pages 563 et 694. Nous croyons intéressant de compléter ce que nous en avons dit en donnant ici le résumé d'une communication faite dernièrement par M. Deschamps à l'*Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège*.

Les essais d'installation de condensation centrale sont restés longtemps sans donner de solution pratique. Pourtant, au cours de ces dernières années, le problème a été étudié de plus près et un certain nombre de maisons ont construit, surtout en Allemagne, des condensations centrales qui, appliquées principalement aux charbonnages, donnent des résultats économiques très satisfaisants.

Les installations sont intéressantes à décrire, non seulement à cause de leurs dispositions, mais aussi à cause des principes nouveaux qui y sont appliqués. L'un des plus importants est celui du contre-courant. Dans les condenseurs à mélange ordinaire, tels qu'on les installe près des machines, la pompe aspire ensemble l'eau, l'air et la vapeur qui n'a pu être condensée. L'eau et l'air marchent donc parallèlement vers l'orifice d'évacuation. On remarquera que l'évacuation se fait à la température de l'eau chaude; on devra donc extraire la grande quantité de vapeur résultant du degré élevé de saturation à cette température. Dans les installations de condensation centrale, l'eau est extraite par une pompe à eau chaude ou un tuyau barométrique d'au moins 10 m, l'air et le résidu de vapeur étant aspirés de leur côté par la pompe à vide. Cette disposition permet une circulation très avantageuse en faisant pénétrer la vapeur par le bas, l'eau par le haut, et évacuant l'air et la vapeur résiduelle par le haut, la vapeur par le bas. Le courant gazeux et le courant liquide marchent donc en sens inverse. C'est la circulation méthodique ou à contre-courant.

On voit que l'air est aspiré à proximité de l'arrivée d'eau froide, c'est-

à-dire à une température où le degré de saturation de la vapeur est faible. Le volume gazeux à extraire sera donc moins grand que pour la circulation à courants parallèles, puisqu'il comportera moins de vapeur et aussi que l'air plus froid sera moins dilaté. On réalise ainsi une économie d'eau froide, car l'eau peut être évacuée à une température plus élevée.

La circulation à contre-courant permet donc une notable diminution du volume des pompes et de la dépense d'énergie nécessaire à leur commande.

Lorsque le nombre ou l'allure des machines envoyant de la vapeur au condenseur varie, la température de ce dernier et, par conséquent, le degré de vide, ne restent pas constantes. Pour parer à cet inconvénient, M. Weiss a imaginé un appareil qui maintient automatiquement un degré de vide satisfaisant. Mais il ne peut convenir que si les variations dans l'afflux de la vapeur ne se font qu'à de longs intervalles. Tel n'est pas le cas des machines d'extraction, par exemple. Dans ce cas, les constructeurs cherchent à obtenir un vide assez constant en empêchant les fortes variations de température. A cet effet, la maison Balcke dispose ses condenseurs de façon à y laisser une grande réserve d'eau qui constitue une sorte de volant pour les calories. M. Weiss établit par ses calculs qu'à moins d'adopter des réserves d'eau très considérables, ce système devient inefficace après quelques minutes d'arrivée maximum de vapeur. Il préconise l'emploi des accumulateurs d'eau froide ; la réserve d'eau est placée hors du condenseur, là où il y a de la place.

L'eau de refroidissement qui descend à l'intérieur du condenseur est reprise après qu'elle s'est déjà mélangée à la vapeur et conduite à la partie supérieure de l'accumulateur placée en contrebas. L'eau froide qui se trouve à la partie inférieure de celui-ci gagne par un autre tuyau le condenseur où elle débouche à un niveau inférieur à celui de l'évacuation de l'eau déjà échauffée.

On a également utilisé dans les condensations centrales les condenseurs par surface, lorsqu'on ne dispose pas de bonne eau pour l'alimentation des chaudières. On a employé le type des condenseurs tubulaires de la marine, auxquels le principe de contre-courant peut être appliqué.

Dans certains cas, au lieu de faire circuler l'eau de refroidissement à l'intérieur des tubes, on y a fait passer la vapeur à condenser, le faisceau tubulaire étant immergé dans un réservoir, un étang ou même une rivière. Il est à remarquer qu'alors le refroidissement se fait surtout par suite de l'évaporation et qu'il ne peut être question de circulation parallèle ou méthodique. Lorsqu'on ne dispose pas d'un réservoir dont la surface permette une évaporation assez active, on peut refroidir les tubes par un système d'arrosage.

Un des grands avantages de la condensation centrale est de permettre l'application de la condensation aux machines à marche intermittente, comme les machines d'extraction. Des essais faits par M. Henry, au charbonnage du Hasard, et par M. Starch, en Westphalie, montrent que la condensation procure une économie de vapeur qui peut atteindre dans certains cas 20 à 25 0/0.

Sur les condenseurs indépendants, la condensation centrale présente l'avantage d'une grande sécurité de fonctionnement, car les pompes sont mieux installées et plus facilement surveillées que dans les condensations ordinaires. Enfin, le vide est prêt au moment de la mise en marche des machines,

Le Congrès international de Géographie. — Le neuvième Congrès international de Géographie s'est tenu du 28 juillet au 8 août dernier, à Genève. Il comptait environ 750 participants et 164 délégations. Nous croyons intéressant d'indiquer les principales résolutions auxquelles il a abouti.

Dans la dernière journée, les délégués se sont réunis pour examiner les résolutions et vœux votés en séances générales et en séances des sections.

L'assemblée a adopté une résolution concernant la carte du monde à l'échelle de 1 millionième, ainsi que les résolutions relatives à la préparation d'une association cartographique internationale et à la publication d'un répertoire graphique.

Le Congrès, sur la proposition du commandeur Roncagli, délégué de la Società geographica italiana, avait donné mandat à la présidence de nommer une Commission internationale à laquelle le mandat suivant serait conféré :

1° Etudier d'une façon organique le projet d'un Bureau international de consultation géographique au profit du commerce ;

2° Fixer le programme et les détails d'une Commission internationale de délégués des Sociétés de Géographie et associations similaires, des grandes organisations officielles du commerce, des instituts supérieurs d'instruction commerciale, etc. ;

3° Inviter les Sociétés de Géographie à nommer leurs délégués et à fonctionner à leur tour comme centre d'invitation auprès des autres institutions précédemment citées, chacune dans les limites du pays auquel elle appartient.

Cette résolution a été adoptée après discussion.

Sur la proposition de M. Georges Lecointe, directeur de l'Observatoire d'Uccle, Belgique, le vœu suivant a été voté :

Le neuvième Congrès international de Géographie, tenu à Genève en 1908, émet le vœu de voir les Gouvernements intéressés examiner avec la plus grande bienveillance la demande d'adhésion à la Commission polaire internationale qui leur sera incessamment adressée par le Bureau provisoire de cette Commission.

De son côté, M. Henry K. Arctowski a fait voter un vœu concernant la nécessité de compléter les explorations systématiques des pôles.

Puis l'Assemblée a adopté les vœux suivants proposés par la section I, après lecture du rapport de M. Nicolle :

1° Que la France se rallie au système des fuseaux horaires généralement adopté et reconnaisse comme heure légale celle du temps moyen de Paris retardée de 9 minutes 21 secondes ;

2° Que partout la numération des heures du jour soit établie de 0 à 24 de minuit à minuit;

3° Que toutes les horloges destinées à la vue du public, y compris celles de l'intérieur des gares de chemins de fer, soient réglées sur l'heure légale.

Après communication de M. J. de Schokolsky, la section I avait adopté le vœu suivant, qui a été ratifié :

Il est reconnu nécessaire que chaque carte porte l'indication de son échelle moyenne :

La même section avait encore émis le vœu suivant sur la proposition de M. Eginitis, d'Athènes :

Que les divers Gouvernements se mettent d'accord pour réaliser et compléter le projet de l'Académie des Sciences et du Bureau des longitudes de Paris pour la transmission de l'heure et la détermination des différences de longitude par la télégraphie sans fil, tant en mer au profit de la navigation, que par terre pour celui de l'astronomie, de la géographie et de la science en général.

Il a été émis le vœu que les Sociétés de géographie veuillent bien chercher à intéresser le gouvernement de leurs pays respectifs à la réfection des monuments cartographiques de l'antiquité, du moyen âge et de la Renaissance, documents d'une grande valeur scientifique et que le temps menace de détruire.

MM. les docteurs Nordenskjœld, K. Miller, G. Marcel, E. Oberhummer et C. Perron, ont été nommés membres d'une Commission ayant pour mandat de centraliser les résultats obtenus dans cet ordre d'idées, de présenter au prochain Congrès un catalogue donnant l'état général de la réfection des cartes anciennes en *fac-similé* et de déterminer par ordre d'importance les documents cartographiques anciens dont la restitution serait particulièrement désirable.

La Commission pourra s'adjoindre, par coopération, des membres appartenant aux divers pays possédant des documents cartographiques.

Après la communication de M. le professeur Oberhummer, la section I avait adopté le vœu suivant, qui a été ratifié :

La section de cartographie déclare comme désirable que, sur les plans de villes, le terrain soit représenté, comme sur les cartes topographiques, par des courbes de niveau ou par des hachures.

On a encore adopté un vœu tendant à la création d'un Comité international pour réunir une collection de vues des formes du relief terrestre.

On a encore adopté les vœux suivants fort importants :

Le Congrès reconnaît comme très urgent en matière d'océanographie, l'exploration physique et biologique de l'océan Atlantique.

L'opportunité d'une exploration océanographique de la Méditerranée, particulièrement au point de vue de l'intérêt des pêches maritimes, est incontestable. Une Commission spéciale a été chargée de convoquer une conférence technique dans laquelle soient représentés tous les Etats méditerranéens pour étudier le programme d'un tel travail et les moyens de l'accomplir.

A la suite de la communication de M. Roux, la section XIV a adopté le vœu suivant, qui a été ratifié :

Le Congrès international de Géographie de 1908, après avoir entendu le rapport relatif aux fluctuations auxquelles sont soumises les appellations du lac de Genève ou lac Léman, émet le vœu que, dorénavant, les deux noms (lac Léman ou lac de Genève ; lac de Genève ou lac Léman) figurent sur toutes les cartes, et que le service topographique fédéral suisse soit invité à se conformer à cette décision, ainsi que les grandes maisons d'éditions cartographiques en Suisse et à l'étranger.

Une Commission de sept membres a été chargée d'étudier la question de la transcription des noms géographiques sous tous ses aspects, en se mettant en communication avec les personnes et les Sociétés savantes compétentes, en provoquant dans la presse spéciale une discussion à ce sujet, dans le but de préparer un rapport complet, de telle sorte que le prochain Congrès puisse prendre une décision définitive sur cette importante question.

Enfin, pour terminer, on a adopté le vœu suivant :

Considérant que les premiers noms donnés doivent autant que possible être conservés ou rétablis sur les cartes ;

Considérant la décision favorable émise à ce sujet par le Congrès international de Berlin ;

Les noms primitifs doivent être rétablis là où ils ont été valablement donnés.

Le prochain Congrès se tiendra à Rome.

Les industries de l'âge de la pierre. — Bien que ce sujet ne rentre pas tout à fait dans ceux dont s'occupe généralement notre Société, nous croyons intéressant de reproduire ici le résumé d'une communication faite le 10 mars 1897 par M. Rutot, Conservateur du Musée d'histoire naturelle de Belgique à la section de Bruxelles de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège.

L'homme a compris très tôt qu'il était indispensable d'augmenter ses moyens d'action, tant pour l'attaque que pour la défense ; aussi a-t-il cherché à substituer à l'action directe de ses poings, celle de corps durs et plus particulièrement de la pierre. C'est le silex qu'il a utilisé de préférence à cause de sa dureté et de son facile débitage en fragments à arêtes vives. Toujours l'homme a recherché le silex pour ces avantages ; cette constatation a pu se faire sur une surface immense, depuis l'Espagne jusqu'au Japon.

L'étude des différents échantillons de l'industrie de l'âge de la pierre a permis de les classer en cinq grandes catégories que voici :

1° Outils percutants : le marteau et conséquemment l'enclume ;
2° Outils tranchants : hache, couteaux, tranchets ;
3° Outils pour racler le bois, les os ;
4° Outils pour gratter ou pour séparer les peaux des chairs ;
5° Outils pour percer.

Tous ces outils exigent une bonne préhension, afin de pouvoir exercer

l'effort voulu sans se blesser la main; il a fallu dans ce but abattre les aspérités du côté opposé au tranchant; c'est ce que l'auteur appelle la retouche d'accomodation. Les instruments que présente M. Rutot à ses auditeurs présentent tous cette retouche plus ou moins habilement faite. Pour les couteaux, cette retouche comprend en outre un point d'appui pour l'index.

Les instruments qui ont servi se différencient aisément. En effet, au bout de quelque temps d'usage, les couteaux présentent des éclats des deux côtés de la lame, tandis que les racloirs ne s'ébrèchent que d'un seul côté, celui opposé au sens du raclage. Il faut peu de temps pour reconnaitre qu'un racloir s'ébrèche beaucoup plus vite quand il est employé indifféremment dans les deux sens; aussi, nos ancêtres ne raclaient-ils que dans un sens, d'où des éclats du même côté.

Les couteaux pouvaient servir longtemps; il n'en était pas de même des racloirs, qui étaient ébréchés au bout de 2 à 3 minutes. Nos ancêtres avaient trouvé le moyen de raviver le taillant : avec un petit bâtonnet en silex, ils donnaient de petits chocs le long de la lame; ils enlevaient ainsi des éclats et aiguisaient le taillant. Pour les couteaux, ces chocs se donnaient des deux côtés de la lame; à la longue, elle se transformait en scie. Quant aux racloirs, ces chocs se donnaient d'un seul côte de la lame, de celui d'où partaient les éclats; les racloirs pouvaient subir jusqu'à trois retouches, après quoi ils devaient être rejetés; sous l'action de ces retouches, le taillant devenait de plus en plus obtus, au point de ne plus pouvoir agir. Le racloir pouvait être utilisé pendant 2 ou 3 minutes quand il était neuf, pendant 2 minutes en plus après la première retouche, et 1 minute en plus après la deuxième retouche.

La consommation de silex était alors relativement considérable. L'homme, à cette époque, se tenait au voisinage des cours d'eau et des effleurements de silex. Suivant M. Rutot, les hommes ont commencé à se servir des outils en pierre vers la fin du miocène supérieur et ils n'y ont renoncé que vers 6 000 ans avant notre époque, lors de la découverte du métal.

Vers la fin du quaternaire, à l'époque des cavernes, on utilisait beaucoup de couteaux en silex. Dans le quaternaire moyen, correspondant à la faune du mammouth et au début du gauchers, quelques-uns présentaient là deux caractères et pouvaient être utilisés d'un côté de la main droite, de l'autre de la main gauche; en ce temps, les hommes se servaient indifféremment des deux mains. Ces racloirs doubles sont appelés souvent pierres moustériennes. Il existe de ces instruments, présentant de véritables encoches, pour racler soit du bois, soit des os.

Raper et racler sont deux opérations qui, dans notre esprit, se ressemblent beaucoup; cependant, les primitifs faisaient une importante distinction. Actuellement, les Esquimaux en sont encore à l'âge de la pierre; ils emploient beaucoup de grattoirs généralement emmanchés. Ils les utilisent pour enlever les poils des peaux et certaines boules de graisses qui ne tardent pas à se décomposer et à sentir très mauvais, même pour eux, si peu difficiles sur ce point. Certaines tribus sauvages se servent encore de grattoirs pour se soigner les pieds; il y a tout lieu de supposer qu'il en était de même de nos ancêtres. Dans l'Australie,

certains sauvages utilisent des grattoirs emmanchés pour creuser des arbres et les façonner en pirogues.

Aujourd'hui, au Mexique, des barbiers vous font la barbe avec des lames racloirs en paléolithique ; à l'époque dite strepyienne, on utilisait aussi les couteaux. C'est alors que les hommes ont cherché à tailler la pierre. Quand les silex naturels sont devenus plus rares, ils sont parvenus à utiliser ceux à cassure conchoïdale et à en retoucher les arêtes de façon à en former des instruments à taillant rectiligne. Les principaux gisements de silex en Belgique se trouvent dans le Hainaut. A certain niveau, dans le Mafflien, on trouve encore actuellement des silex qui se débitent en lame, après leur mise à découvert, uniquement sous l'influence des intempéries atmosphériques. Dans le Miocène supérieur, au début de l'industrie néolithique, on trouve des silex présentant des bulbes de percussion ; ces pierres n'ont pas été débitées intentionnellement, ce sont des éclats qui se sont détachés de l'enclume sous l'action des percuteurs. Des racloirs ont été rencontrés dans le même terrain.

Au commencement du quaternaire, au début de l'industrie paléolithique, les hommes ont trouvé le moyen de raviver le taillant en employant divers procédés appropriés au mode de travail à effectuer. Les racloirs sont tantôt droitiers, tantôt silex, et ils demandent une majoration de salaire quand le client exige des instruments neufs.

Pendant les périodes paléolithiques et oolithiques, il est très douteux que l'idée de façonner des couteaux fût venue ; il est difficile d'expliquer, sinon par les soins du corps et des peaux, le grand nombre de grattoirs. Ceux-ci se distinguent des racloirs par le système de préhension. Ces derniers sont disposés pour être pris dans la paume de la main, les premiers avec les doigts. Les racloirs étaient utilisés avec leur taillant naturel, leur dos était accommodé aux deux extrémités de façon à pouvoir être pris avec les doigts sans les blesser ; leur taillant naturel, aussitôt qu'il était ébréché, était retaillé une ou plusieurs fois, jusqu'au moment où il devenait inutilisable ; parfois, le taillant était façonné de manière à présenter une encoche pour racler soit des os, soit du bois. *(A suivre.)*

Le système métrique. — M. Arthur H. Allen a présenté, le 1er juin dernier, à la Society of Engineers, une intéressante communication dans laquelle il s'est attaché à faire ressortir les avantages du système métrique pour les applications industrielles et l'art de l'Ingénieur. Nous n'avons pas si souvent l'occasion de voir des auteurs anglais faire l'éloge du système métrique pour ne pas citer celle-ci.

M. Allen explique d'abord que ce système a été créé pour remplacer un ensemble très confus et disparate de poids et mesures et avec une tendance très nette à la généralisation ; on s'est surtout proposé de partir de bases naturelles et invariables pour créer un système homogène et indépendant, pouvant faciliter dans une large mesure les transactions commerciales entre les divers pays. Ce système, développé avec de longs et patients efforts, s'est imposé d'abord en France, puis dans le monde civilisé, à l'exception de l'Empire Britannique, des États-Unis et de la Russie.

Disons tout de suite que, si la base de ce système, le mètre, qui est l'unité de longueur, est, en réalité, entachée d'une légère erreur. ce fait n'a aucune espèce d'importance, en présence du nombre d'étalons qui existent et, de plus, sa valeur en fonction de la longueur d'ondes lumineuses est si bien connue que, si tous les étalons existants venaient à disparaître, il n'y aurait aucune difficulté à reconstituer le mètre avec une parfaite précision. En pratique, les avantages de simplicité et d'homogénéité du système métrique se manifestent journellement et si la Grande-Bretagne venait à l'adopter, son usage deviendrait bientôt universel.

M. Allen indique les principales divisions du système métrique et insiste sur la correspondance des unités de longueur et de poids reliées par des relations de la plus grande simplicité. L'extrême facilité que ces relations apportent dans la pratique en comparaison avec le système anglais est facile à mettre en évidence ainsi que l'économie de temps et la réduction des erreurs dans les calculs. De nombreux rapports de Commissions parlementaires, l'opinion émise à diverses reprises par les corps constitués en font foi et il n'y a aucun doute à avoir sur la gêne extrême que l'usage du système actuel de poids et mesures entraine pour le commerce de la Grande-Bretagne.

D'après l'auteur, les avantage du système métrique se font surtout sentir dans les diverses branches de l'industrie, et notamment dans l'industrie mécanique. D'abord les dessins sont cotés en millimètres ; il n'y a plus à marquer de pieds et de pouces et on supprime des sources continuelles d'erreurs provenant de la nécessité d'indiquer des huitièmes, des seiziémes et des trente-deuxiémes de pouce, et de faire l'addition de longueurs contenant de ces fractions. Calculez par exemple 23/32[es] de pouce !

On a souvent reproché au système métrique de permettre des erreurs dues à l'omission ou au déplacement d'une virgule ; mais ces erreurs sont le plus souvent si grosses qu'elles sont extrêmement faciles à reconnaitre. Ainsi si on donne l'écartement d'une voie de chemin de fer à 143 m ou 14,30 m au lieu de 1,43 m, personne ne s'y trompera. De même si on donne 90 m au lieu de 9 m, pour la longueur d'un rail. Ces erreurs non seulement n'ont point d'importance, mais ne se produisent plus avec des dessinateurs un peu habitués à l'emploi de ces mesures.

On a aussi mis en avant la difficulté que les ouvriers éprouvent à passer d'un système à l'autre. Les faits suivants prouvent que cette objection n'est aucunement fondée. MM. Willans et Robinson emploient depuis plusieurs années pour leurs livraisons à l'étranger et parallèlement aux mesures anglaises, le système métrique et n'ont jamais éprouvé aucune difficulté ; ils ont adopté exclusivement ce dernier système pour la construction des turbines à vapeur ; il n'a pas été nécessaire de créer de nouveaux outils.

L'année dernière, les ateliers Baldwin, à Philadelphie, ont fait vingt locomotives pour une Compagnie française de chemins de fer ; 19 000 ouvriers ont travaillé à ces machines d'après des mesures métriques et ont manifesté leur enthousiasme pour ce système. La Compagnie d'Orléans avait fourni les dessins, au nombre de 500, représentant une dizaine de

mille pièces ; les machines devaient être achevées en six mois ; les constructeurs se procurèrent des mesures métriques, firent les jauges et les calibres d'après le système. On travailla uniquement avec ces moyens, il n'y eut pas une erreur ni une difficulté. Le directeur général, M. S. Vauclain, fut converti du coup au système métrique.

Pour le travail de l'atelier, il n'y a besoin d'aucun changement, les machines-outils s'emploient indifféremment pour les deux systèmes. Quant aux pas de vis, les pas types de l'Association Britannique sont, comme on le sait, établis en unités métriques, d'ailleurs, il ne peut pas y avoir de confusion entre les pouces et les millimètres. Les micromètres métriques sont faits avec un tour par millimètre, ce qui permet de lire le centième de millimètre ; tandis que les micromètres basés sur le pouce, nécessitent 40 tours pour le pouce et ont 25 divisions sur la circonférence. Le 100ᵉ de millimètre est plus précis que le 1000ᵉ de pouce, ce qui est un réel avantage en faveur de l'appareil métrique.

Pour les calculs, l'avantage en faveur du système métrique est si considérable qu'il est à peine besoin d'insister. L'expérience de l'auteur dans l'étude des machines électriques lui a fait voir depuis longtemps qu'il y avait une énorme économie de temps à transformer les mesures anglaises en mesures métriques, à faire tous les calculs avec ces dernières et une fois les résultats obtenus, à les transformer en mesures anglaises. C'est ce qui se fait maintenant d'une manière courante dans les travaux concernant les applications de l'électricité.

L'opinion de Steinmetz peut être citée à ce sujet. Au début d'un mémoire lu ces jours-ci à l'*American Society of Mechanical Engineers*, cet ingénieur et savant distingué s'exprime ainsi : « Dans ce qui suit, nous nous servirons uniquement du système métrique, parce que cet amas incohérent de mesures hétérogènes qu'on appelle le système anglais de mesures, exige tant de facteurs de réduction qu'on ne peut s'en servir que dans un très petit nombre de cas.

» Lorsque les recherches s'étendent dans le domaine de plusieurs sciences, par exemple, mécanique, thermodynamique, électricité, etc., le système britannique est si compliqué qu'il devient beaucoup plus simple de transformer les données dans le système métrique, d'exécuter les calculs d'après lui et de revenir finalement, si on y tient, aux mesures anglaises ». Nous ferons remarquer le « si on y tient », cette seule phrase vaut des volumes.

Sir Frédérick Bramwell était, on le sait, grand partisan du système anglais de mesures ; il le proclamait le meilleur pour le calcul mental ; il faut dire qu'il était doué d'une façon exceptionnelle sous ce rapport et on ne saurait prétendre tirer parti de ce cas exceptionnel, pour imposer à la masse les inconvénients de ce système. D'ailleurs, cet ingénieur regretté faisait une confusion entre le système métrique et le système décimal. Rien n'empêche de se servir de fractions ordinaires pour le système métrique, pour calculer de tête et de s'approprier les procédés abrégés de Sir Frédérick Bramwell. D'autre part, un autre ingénieur non moins distingué, sir Benjamin Baker, qui était très familiarisé avec l'emploi du système métrique, déclarait que celui-ci « était incomparablement plus simple, d'une simplicité merveilleuse ».

On a souvent proposé de décimaliser les mesures anglaises; il y a même une Association qui s'est fondée dans ce but. L'auteur croit que ce projet n'a aucun avenir; il ne peut en résulter que confusion. Diviser le pouce en décimales, n'enlèverait aucun des inconvénients du pied et du yard. Les ateliers Armstrong ont, pendant plusieurs années, employé le pouce divisé en décimales pour se débarrasser des trente-deuxièmes et des soixante-quatrièmes de pouce, mais ils y ont renoncé. En Allemagne on a fait à l'origine diverses tentatives, mais on a fini par adopter le système métrique. Cette adoption s'est faite sans aucun frottement, de même en Autriche. En fait, tous les pays qui ont pris le système métrique s'en sont bien trouvés, et toutes les objections faites se sont évanouies à l'usage. Si l'emploi de ce système gênait l'industrie allemande, l'Angleterre ne trouverait pas sa concurrence si redoutable.

Chambres à air médicales. — On a proposé aux États-Unis d'employer comme accessoire de secours dans les grands travaux à l'air comprimé, des chambres à air dites médicales, destinées à soumettre les ouvriers victimes de « coups de pression » à un traitement approprié et l'emploi de ces appareils paraît se répandre.

Le premier usage en a été fait par la Société S. Pearson et fils, en 1889, au premier tunnel sous l'Hudson, tunnel qui, après avoir été poussé sur une longueur de près de 600 m, dut être abandonné pour être repris et terminé heureusement il y a peu de temps.

Cette chambre avait 2,83 m de diamètre sur 6,10 m de longueur; elle était entièrement en tôle; elle contenait des lits pour les malades en traitement, l'intérieur était éclairé à la lumière électrique et elle était munie de tous les dispositifs de sûreté, robinets pour admettre et lâcher l'air comprimé, thermomètre et manomètres, etc.

Aux tunnels sous l'East River, on emploie six chambres de ce genre qui ont en plus des écluses à air ou chambres d'équilibre, pour que les médecins puissent entrer et sortir sans être obligés de modifier la pression à l'intérieur. Dans les travaux dont nous parlons, on a eu trois cas d'ouvriers qu'on avait crus morts et qui sont revenus à la vie, après traitement dans une chambre médicale.

Disons, d'après les journaux américains, que cette innovation a été assez appréciée par les intéressés pour que le personnel, employés et ouvriers de la maison Pearson, ait cru devoir offrir à leur collègue, M. E. W. Moir, qui en a eu l'idée et fait la première application, un modèle de cet appareil, exécuté avec luxe à l'échelle de un huitième.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Mai 1908.

Amélioration des espèces végétales de grande culture, par M. Schribaux, professeur à l'Institut agronomique.

Si la chimie et la mécanique ont eu au courant du dix-neuvième siècle, une influence considérable sur la production agricole, on ne doit pas moins attendre de la biologie au point de vue de l'amélioration des espèces végétales. Non seulement la création de variétés nouvelles est déjà arrivée à un haut degré de perfection, mais bon nombre ont été fabriquées pour ainsi dire sur commande.

L'auteur indique comment procèdent les praticiens en vue d'obtenir des variétés nouvelles en expliquant d'abord l'origine des variations naturelles et complète les considérations qu'il a exposées par quelques exemples d'amélioration de plantes de grande culture, telles que betteraves à sucre, céréales, plantes de prairies, etc., la conclusion est que produire un peu plus de pain, un peu plus de viande, augmenter le bien-être général, sans demander plus d'efforts au cultivateur, c'est une tâche assez belle pour ne rien négliger afin de la mener à bien.

La photographie des couleurs et les plaques autochromes, par M. Wallon.

L'auteur décrit ici le procédé simplifié de photographie en couleurs par les plaques autochromes de MM. A. et L. Lumière. Nous n'insisterons pas sur cette question qui a fait l'objet d'une communication récente devant notre Société.

Communication de M. G. Ducretet, sur **ses appareils de télégraphie sans fil.**

Dans une précédente communication à la Société d'Encouragement (juillet 1898), M. G. Ducretet, en présentant les appareils de télégraphie sans fil qu'il avait créés en collaboration avec le professeur Popoff, insistait tout particulièrement sur divers dispositifs ayant pour effet d'obtenir un certain accord entre les postes et une plus grande portée des ondes hertziennes dans l'espace.

Ces dispositifs, ainsi créés par l'auteur, sont maintenant utilisés avec

succès dans tous les postes de télégraphie sans fil ; ils ont pour caractéristique l'emploi d'un résonateur du docteur Oudin, à réglage, placé à la partie inférieure de l'antenne radiatrice et collectrice ; le réglage par les curseurs mobiles des spires du résonateur associé à l'antenne, le maximum de puissance radiante dans l'espace et on obtient ainsi un certain accord par résonance entre le radiateur et le récepteur. Ces dispositifs sont présentés avec expériences au cours de la communication.

Communication de M. R. Périssé, sur **le chauffage et la ventilation par l'électricité.**

L'auteur fait d'abord la critique des divers systèmes de chauffage et explique que l'intervention de l'électricité fait disparaître les inconvénients qu'ils présentent. C'est certainement le meilleur agent de transport de calories parce qu'elle est rapide, souple, silencieuse et qu'elle circule sans gêner personne et sans exigences multiples.

Les appareils destinés à transformer l'énergie électrique en chaleur sont des résistances convenablement étudiées en vue d'obtenir le meilleur rendement possible, la facilité d'installation et un prix de revient aussi bas que possible.

M. Périssé décrit la plaque chauffante de Crompton, introduite en France par M. Lalance et les appareils créés pour l'utiliser et il donne ensuite la description d'une installation de chauffage et de ventilation exécutée au Cercle de l'Union Artistique, rue Boissy-d'Anglas, où le chauffage est opéré par les appareils dont il vient d'être question et la ventilation par des ventilateurs actionnés par le courant électrique.

L'emploi du chauffage électrique est intimement lié au prix de vente de l'électricité. Si ce prix pouvait être abaissé, le chauffage électrique se répandrait rapidement.

L'Impérialisme économique en Grande-Bretagne, par M. Maurice Alfassa.

Notes de Chimie, par M. Jules Garçon.

Voici les principales questions traitées : — La chimie des secrétions végétales. — Sur la synthèse des terpines. — Sur la combustion des gaz. — Sur la corrosion des fers et aciers. — Impuretés des alcools. — La dissolution des copals. — Résistance des vernis à la lumière. — Conservation du papier parcheminé. — Emploi de l'acide sulfureux en sucrerie. — Sur les sucres, etc.

Notes de Mécanique. — Nous trouvons ici : Réglage des moteurs à gaz. — La surchauffe dans les machines marines.

ANNALES DES PONTS-ET-CHAUSSÉES

1er fascicule de 1908.

Le réservoir de la Vingeanne, par M. Jacquinot, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce réservoir, mis en service dans l'hiver de 1905-06, est destiné à l'alimentation du canal de la Marne à la Saône ; il a une digue en terre d'une longueur de 1250 m ; elle est en courbe et concave vers l'amont, la plus grande largeur à la base est de 43,90 m pour une hauteur de 10,80 m.

La note décrit les procédés d'exécution, une partie intéressante est le revêtement du talus amont de la digue en grandes dalles de mortier de ciment portland, moulées sur place, dalles de 0,20 m d'épaisseur, 3 m de largeur et 2 m de hauteur. Les remblais de la digue cubent 296 000$^{m^3}$. Leur corroyage a été effectué au moyen de rouleaux à pétrole. Les travaux avaient été commencés en 1901. La dépense totale du réservoir s'est élevée à 3 375 000 f, ce qui fait ressortir le prix du mètre cube d'eau emmagasiné annuellement à 0,30 f.

Les lignes de montagne de l'Oberland bernois. par M. V. Amilhau.

C'est un extrait d'un rapport de mission dans lequel sont décrites les lignes de l'Oberland bernois, comprenant les voies reliant Interlaken à Lauterbrunnen et Grindelwald, le funiculaire et le tramway électrique allant de Lauterbrunnen à Murren, celles de la Wengernalp et le chemin de fer de la Jungfrau. Ce n'est pas absolument un sujet d'actualité, les premières lignes existant depuis douze à quinze ans. La note décrit successivement les différentes lignes, leur mode de construction, mixte, avec crémaillère et adhérence, ou à crémaillère seule, leur tracé, le matériel fixe et roulant, l'exploitation, etc. On trouvera des détails statistiques très complets sur les divers points relatifs à la construction et à l'exploitation, détails reproduits des statistiques du département fédéral des chemins de fer.

Étude des grandes forces hydrauliques dans la région des Alpes. — Contrôle des débits par la mesure des pentes, par M. Mougnié, Conducteur des Ponts et Chaussées.

L'objet de cette note est d'exposer comment, malgré l'insuffisance de renseignements exacts concernant les débits supérieurs au débit moyen de l'Isère à Moutiers, insuffisance qui s'explique par l'impossibilité matérielle où l'on se trouve d'exécuter des jaugeages au moulinet dès que la hauteur d'eau dépasse 0,40 m à l'échelle, les quelques jaugeages en basses eaux et eaux moyennes, effectués à ce jour, ont permis d'établir le contrôle des débits par la méthode des pentes.

En employant la formule de M. Bazin, le problème se ramène à la détermination d'un coefficient qu'il est possible de déduire des opérations de jaugeage effectuées à ce jour.

Notes sur la détermination du moment et fléchissant maximum et de la flèche, dans une poutre reposant sur deux appuis, sous l'influence d'une charge mobile, par M. Mayer, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Note sur **une méthode accélérée pour comparer l'aptitude des liants hydrauliques** à la décomposition par l'eau de mer, par M. R. Feret, Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées, à Boulogne-sur-Mer.

La principale cause de la lenteur et des irrégularités des essais ordinaires de décomposition est la formation, à la surface des blocs, d'une croûte formée de carbonates de chaux et de magnésie. On peut, en simplifiant une méthode employée par Vicat, éviter ces difficultés et accélérer les opérations, en opérant sur des blocs quelconques ayant durci dans l'eau, par exemple sur des moitiés de briquettes de liant pur ayant servi aux essais de résistance ; après une durée d'immersion suffisante, on y taille un petit parallélépipède rectangle, en abattant toute la partie superficielle, plus ou moins carbonatée, et usant les faces de manière à les rendre nettes et à peu près planes et à avoir des arêtes vives ; aussitôt après, le bloc obtenu est immergé définitivement dans une solution de sulfate de magnésie où on l'examine à époques fixes.

Avec quelques précautions, cette méthode conduit à des résultats intéressants et, malgré les quelques mois d'attente qu'elle exige, elle peut, sans exagération, être qualifiée d'accélérée, surtout si on la compare avec le procédé par immersion ordinaire qui est le seul dont l'emploi se soit encore généralisé.

Note sur **les additions de pouzzolanes aux mortiers en prise à l'eau de mer,** par M. Vetillart, Inspecteur général des Ponts et Chaussées et R. Feret, Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-Mer.

Des essais faits jusqu'ici, on peut conclure que l'emploi des pouzzolanes dans les mortiers concurremment avec les liants hydrauliques usuels, parait accroître la résistance et retarder notablement, dans un grand nombre de cas, la désagrégation par l'eau de mer ; il doit donc être conseillé, au moins, à titre expérimental. Son emploi doit toutefois être fait dans certaines conditions qui sont indiquées dans la note.

Restauration du pont de Pont-du-Château, par M. Tavera, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce pont est établi sur l'Allier, pour donner passage à la route nationale n° 89, de Lyon à Bordeaux ; il a sept arches en pierre et a été construit vers 1777 ; il présentait depuis longtemps de sérieux désordres ; les voûtes étaient lézardées longitudinalement près de l'axe de l'ouvrage ; certaines piles étaient fissurées ; les parements des tympans étaient en

surplomb ainsi que l'arête des avant et arrière becs. Ces désordres ont été, après examen minutieux, attribués à une action d'expansion des maçonneries de remplissage faites avec des calcaires tendres qui, sous l'action des eaux (que les chapes partielles de l'ouvrage ne pouvaient empêcher de passer) se sont décomposées et ont pu fuser en subissant une dilatation. On peut ajouter à cette action celle des gelées dont l'effet est analogue.

Un essai de réparation a été fait sur deux arches contiguës à une pile, cet essai consistant à :

1° Ne reconstruire que les maçonneries disloquées, en opérant successivement sur la moitié de la largeur du pont et en ne mettant sur cintres que les parties de la voûte qui exigeaient des réparations importantes ;

2° Remplir au fur et à mesure de l'exécution des tympans, avec du béton, tous les vides dans les maçonneries de remplissage entre ces tympans ;

3° A en jointoyer et rocailler au besoin les maçonneries conservées.

Cette expérience ayant réussi, on a décidé de procéder à la restauration totale du pont. On estime la dépense à 100 000 f environ.

ANNALES DES MINES

1re livraison de 1908.

Rapport au Conseil général des Mines sur **l'établissement d'un droit de sortie sur les minerais de fer,** par M. Aguillon, Inspecteur général des Mines.

M. Francis Laur avait adressé uu début de l'année 1907 une pétition aux Chambres pour demander l'établissement d'un droit de sortie sur les minerais de fer exportés, ces droits, qu'il estimait pouvoir être de 1,25 f par tonne, devant constituer une ressource pour le budget et pour notre industrie sidérurgique une protection contre la concurrence étrangère. Le Ministre a prescrit une enquête sur cette proposition, c'est le résultat de cette enquête qui se trouve dans le rapport dont nous avons occupons ici.

Le rapporteur commence par étudier les précédents existant à l'étranger, en Angleterre, Suède, Espagne et Luxembourg; il ne voit pas que ces précédents soient de nature à donner un appui de quelque valeur à la proposition de M. Laur; ils iraient plutôt à l'encontre. C'est de la situation de notre pays qu'il faut faire exclusivement état. Or les faits démontrent que l'exportation des minerais est une nécessité pour certains districts producteurs tels que les Pyrénées Orientales, la Normandie et la Bretagne. Pour Meurthe-et-Moselle, il est établi que, l'exportation est également un facteur nécessaire de son développement.

L'accroissement énorme des recettes des chemins de fer de l'Est, dont

le mouvement sidérurgique est un des principaux éléments, donne à l'État, comme associé, un bénéfice direct autrement considérable que celui, assez modique qu'il tirerait d'un droit d'exportation. M. Aguillon n'hésite pas, pour conclure, à déclarer que l'établissement d'un droit de sortie sur les minerais de fer en France serait, pour tous nos districts, y compris Meurthe-et-Moselle, non seulement une erreur économique, mais encore une calamité nationale. Ce rapport a été approuvé à l'unanimité par le Conseil général des Mines.

Le pétrole de Roumanie et le Congrès de Bucharest. — par M. A. Aron, Ingénieur des Mines.

Cette note, très développée, étudie d'abord l'industrie du pétrole en Roumanie; l'auteur constate que, de 1903 à 1907, la production a presque quintuplé; elle était de 250 000 à la première de ces dates et de 1 129 000 à la seconde. Il examine ensuite la question au point de vue des gisements et les conditions techniques d'exploitation, sondages, force motrice, prescriptions réglementaires, etc.

Les conditions de transport jouent un rôle considérable ; on amène généralement le pétrole par des conduites aux raffineries et aux gares et les chemins de fer le transportent dans les wagons-citernes à l'intérieur du pays ou vers les ports d'exportation. C'est le port de Constantza qui est le principal de ces ports ; il est parfaitement aménagé et a expédié, en 1907, 350 000 tonnes en nombre rond.

La note donne des aperçus intéressants sur les débouchés du pétrole roumain et sur la consommation intérieure ; la France est le client le plus important de la Roumanie, à un point de vue ; elle a, en 1907, reçu 27 0/0 de l'exportation. Elle examine ensuite l'organisation financière des entreprises et les dispositions législatives qui régissent la matière et termine par une note exposant les études récentes sur les propriétés optiques des pétroles note qui est un résumé d'une conférence faite par M. le professeur Engler au Congrès de Bucharest.

2e livraison de 1908.

Revue périodique des **accidents d'appareils à vapeur**, troisième article, par M. C. Walkenaer, Ingénieur en chef des Mines.

Cette note donne des détails très circonstanciés sur des accidents survenus aux chaudières de navigation, d'abord aux chaudières à tubes d'eau, puis aux chaudières cylindriques à retour de flamme, aux chaudières auxiliaires ; elle examine ensuite un certain nombre de manœuvres dangereuses sur lesquelles il est utile d'appeler l'attention et termine par les accidents survenus au tuyautage et aux machines motrices.

Alfred Potier, Inspecteur général des Mines, Membre de l'Institut **sa vie et ses travaux,** par M. A. Liénard, Ingénieur des Mines.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Avril 1908.

District de Paris.

Réunion du 5 mars 1908.

Communication de M. Renaud, sur **le découpage gazeux des métaux.**

En 1901, une Société allemande avait réussi à détruire les masses connues sous le nom de loups qui obstruent parfois les hauts fourneaux, par l'emploi d'un chalumeau oxyhydrique ; en 1902 elle eut l'idée d'appliquer ce procédé au découpage des masses métalliques. Un peu plus tard, MM. Jottrand et Lulli, de Bruxelles, constatèrent que si une tôle a subi un échauffement local suffisant, il n'y a besoin que de projeter un jet d'oxygène sur ce point pour opérer un trou. Ce second procédé, différent du premier, est susceptible d'applications industrielles nombreuses et intéressantes.

L'auteur décrit les appareils dont on se sert et un certain nombre d'applications telles que travail des plaques de blindage, découpage dans des tôles assemblées d'ouvertures diverses, découpage de tuyaux, coupage d'arbres jusqu'à 0,130 m de diamètre, etc.

Ce qui caractérise ce procédé, c'est sa rapidité; ainsi une plaque de blindage de 160 mm est découpée à raison de 1 m en huit ou dix minutes. Au métropolitain dans une gare, on a pu découper en trois heures 130 fers à T de 0,206 m de hauteur scellés dans le ciment, avec un seul ouvrier. On a découpé en vingt-cinq minutes deux évidements dans les longerons d'une locomotive non démontée. La note contient un tableau donnant la consommation totale de litres d'oxygène et d'hydrogène et le temps nécessaire par mètre courant pour découper des tôles de diverses épaisseurs ; ainsi une tôle de 30 mm exige 330 l d'hydrogène et 370 d'oxygène et 4 minutes 13 secondes.

La largeur de la coupure est de 3/4 à 1 1/2 mm, jusqu'à 20 mm d'épaisseur, 2 1/2 jusqu'à 40 et 4 à 5 mm pour des épaisseurs plus fortes

D'après des essais faits par notre collègue M. L. Guillet, le métal n'est pas altéré par le coupage à l'oxygène, du moins dans les conditions de l'expérience.

Un des points intéressants de cette méthode est l'extrême portatibilité de l'appareillage ; un poste complet de découpage ne pèse pas plus de 25 à 30 kg ; ce serait même, on peut le dire une objection, car on peut citer des cas ou des cambrioleurs ont pu se servir de ce procédé pour ouvrir sans bruit des coffres-forts.

Communication de M. Chautard, sur **la latérisation et ses relations avec la genèse de quelques minerais d'aluminium et de fer** et de certains gîtes aurifères des régions tropicales.

Communication de M. de la Condamine sur **les composés cyanurés existant dans les matières d'épuration du gaz d'éclairage.**

La valeur marchande d'une matière d'épuration épuisée dépend de la quantité de ferrocyanure qu'elle contient, l'ammoniaque, le soufre, etc., étant à peu près sans valeur. La note indique des méthodes pour apprécier la proportion de ferrocyanure contenue dans ces matières.

Congrès colonial français de 1908. On trouvera sous ce titre divers renseignements sur le Congrès colonial qui se réunira à Paris le 1er juin 1908.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 20. — *16 mai 1908.*

Programme de la quarante-neuvième réunion générale de l'Association des Ingénieurs Allemands à Dresde, en 1908.

Les nouveaux chantiers de la Société Vulcan, à Hambourg, par W. Kaemmerer.

Fonctionnement des soupapes automatiques pour pompes, par H. Sieglerschmidt.

Nouvelles machines de l'industrie textile dans les dernières expositions, par G. Rohn *(fin).*

Expériences sur la résistance des tubes-foyers pour chaudières, par C. Bach.

Groupe de Berg. — La photographie en couleurs. — Accidents de machines par suite de rupture du piston.

Bibliographie. — Le développement de la machine à vapeur, par C. Matschoss.

Revue. — Chemin de fer des colonies allemandes. — Turbine à vapeur Franco Tosi. — Port militaire de Rosyth, en Écosse. — Chemin de fer à courant monophasé de Locarno-Pontebrolla-Bignasco.

N° 21. — *23 mai 1908.*

La traction électrique sur la section terminus du New-York-New-Haven and Hartford R. R., par K. Meyer.

Observations sur la théorie du choc d'Euler, par H. Lorenz.

Installations pour le chargement du charbon construites par la Mannheimer Maschinenfabrick Mohr and Federhaff, par M. Buhle.

Recherches sur la trempe et les essais de trempe, par E. Meyer *(fin).*

Groupe de Cologne. — Fours crématoires. — Construction en acier des voitures à voyageurs en Amérique.

Groupe de Lausitz. — Développement du commerce et de l'industrie aujourd'hui et dans l'avenir.

Groupe de Wurtemberg. — Installation de turbines de Freyung. — Explosion de gaz dans les carneaux des chaudières. — Turbines à vapeur dans les installations électriques de Londres.

Bibliographie. — Les éléments de machines, par C. Bach. — Technologie des matières grasses, par G. Hefter.

Revue. — Pompes centrifuges, par Sulzer frères.

N° 22. — *30 mai 1908.*

Notice nécrologique sur Friedrich Westmeyer.

Une installation moderne de force hydraulique à basse pression en Amérique, par G.-E. Hemmeler.

Education des Ingénieurs-Mécaniciens en Angleterre et aux États-Unis, par A. Lang.

La traction électrique sur la section terminus de New-York-New-Haven and Hartford R. R., par K. Meyer.

Le Conseiller supérieur des Mines Albert (1787 à 1846), inventeur du câble métallique, par C. Matschoss.

Groupe de Berlin. — Le développement des machines-outils et son influence commerciale.

Bibliographie. — Calcul et construction des turbines hydrauliques, par R. Thomann.

Revue. — Pompe capsulaire de Pittler. — Les souffleries par courant d'eau dans l'exploitation des mines dans le Hartz. — Emploi des huiles minérales dans les ateliers de construction des chantiers de Mare Island, en Californie. — Destruction des ordures ménagères et production de l'électricité.

N° 23. — *7 juin 1908.*

Progrès dans la navigation aérienne et notamment dans la construction des ballons dirigeables, par H. W. L. Moedebeck.

La conductibilité de la chaleur et les substances calorifuges, par W. Nusselt.

Pont-tournant sur le Hafenkanal, à Libau, par H. Hall.

Automobile de 40/60 ch de la fabrique de moteurs de Deutz, par A. Haller.

Groupe de Breslau. — Les accidents du travail.

Groupe de Bar-Weser. — Les colonies ouvrières.

Bibliographie. — Théorie et emploi du ciment armé, par R. Saligas. — Tableaux numériques pour les tôles et fers profilés pour ciment armé, par Weisse. — Construction et exploitation des chemins de fer électriques, par O. S. Bragstad.

Revue. — La navigation dans le Wurtemberg. — Appareils de sécurité automatiques pour chemins de fer. — Machines à forer à outils multiples.

N° 24. — *13 juin 1908.*

Stations centrales de force motrice à vapeur aux États-Unis, par F. Köster.

Pont-tournant sur le Hafenkanal, à Libau, par H. Hall *(fin)*.

Machines à voler modernes, par W. Kaemmerer.

Uue installation moderne de force hydraulique à basse pression en Amérique, par G. E. Hemmeler *(fin)*.

Le glissement des courroies de transmission, par E. A. Brauer.

Introduction de la traction électrique sur les chemins de fer bavarois, par Gebele.

Bibliographie. — Dictionnaire technique illustré en sept langues, par Deinhardt et Schlomann. — Le travail des tours et l'acier à outils, par A. Wallichs. — Calcul et construction des machines et chaudières de navigation, par G. Bauer. — Le transport des masses, par M. Buhle. — L'enseignement technique, par Fr. Dessauer. — Recherches sur les lampes centrifuges, par Cl. B. Stewart.

Revue. — Machines à tirer les épreuves héliographiques. — Réglage des moteurs à gaz de Crossley. — Quelques objets entrés récemment au Musée allemand, à Munich. — Le croiseur-cuirassé anglais *Indomitable*.

N° 25. — *20 juin 1908.*

Calcul des prix de revient dans l'industrie, par H. Meltzer.

Stations centrales de force motrice à vapeur aux Etats-Unis, par Fr. Köster *(fin)*.

Expériences en marche à vide sur des moteurs à gaz, par R. Schöttler.

La conductibilité de la chaleur et les substances calorifiques, par W. Nusselt *(fin)*.

Réunion générale des Métallurgistes allemands. — Progrès dans l'emploi des grands fours électriques pour la production du carbure de calcium et du ferro-silicium.

Groupe de l'Ems. — Diverses formes de sociétés commerciales au point de vue du droit.

Bibliographie. — Les appareils de levage, par H. Wettich.

Revue. — Exposition de la construction navale allemande à Berlin, en 1908. — Grande machine à raboter à plateau tournant construite par la Fabrique de machines Ernst Schiess et Cie, à Dusseldorf. — Traction électrique sur les chemins de fer suédois. — Usine hydro-électrique de Löntsch.

N° 26. — *27 juin 1908.*

Machines à fraiser les mèches spirales des foreuses mécaniques, par A. Schlesinger.

Calcul des prix de revient dans l'industrie, par H. Meltzer *(suite)*.

Nouveau système d'accouplement pour moteurs de la Fabrique des machines de Berlin-Anhalt, par O. Ohnesorge.

Notice nécrologique sur le docteur Coleman Sellers, par C. Matschoss.

Résistance de l'air contre des surfaces planes, par W. Bauersfeld.

Groupe de Carlsruhe. — Utilisation industrielle des eaux dans le Grand-Duché de Bade.

Groupe du Rhin-Inférieur. — Emploi du gaz à l'eau.

Bibliographie. — Les machines-outils américaines modernes, par C. H. Benjamin.

Revue. — Réunion d'été de l'Association technique de Construction navale, les 16 et 17 juin, à Charlottenbourg. — Expériences sur l'influence de la trempe sur les mesures. — Palier et manchon de réunion d'arbres de Sellers. — Emploi du gaz pour la trempe des surfaces.

N° 27. — *4 juillet 1908.*

Joseph-Marie Jacquard (1753-1834) et l'invention du métier Jacquard, par C. Matschoss.

Calcul des prix de revient dans l'industrie, par H. Meltzer *(fin)*.

Travaux sur la chimie inorganique et la métallographie à l'Institut de Göttingen, par G. Tamman.

Groupe de Berlin. — La politique industrielle des grandes villes et particulièrement de Berlin.

Groupe de Breslau. — Question de la ventilation pour les industries produisant des poussières,

Bibliographie. — Numéro de fête de l'Illustrierte Zeitung, de Leipzig, à l'occasion de la Quarante-neuvième réunion générale de l'Association des Ingénieurs allemands.

Revue. — Locomotive-tender du Great Central Railway. — Le tunnel de Rotherhithe, sous la Tamise. — Approfondissement du canal de Suez.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

IVe SECTION

Étude sur l'Industrie du fer dans le Nord des Ardennes Françaises (1) (Extrait des *Annales des Mines*, livraison de juillet 1907,) par M. Pol Dunaime, Ingénieur civil des Mines.

Dans cette étude, M. Dunaime passe en revue les différentes usines s'occupant de l'industrie du fer dans les régions du Nord et des Ardennes Françaises. Il les groupe en quatre chapitres :

1° Les usines à fer et tôleries ;
2° Les ateliers de forges ;
3° La boulonnerie ;
4° La fonderie.

Pour chaque catégorie, l'auteur décrit les principales usines existant, donne leurs moyens de production, indique leurs spécialités et étudie aussi les conditions sociales et économiques de l'ouvrier ardennais.

Cet opuscule constitue un document précis sur l'intéressante industrie de ce pays. L. G.

Préparation mécanique des minerais, par C. Ratel (2).

Un traité de la *Préparation mécanique des minerais* faisait défaut en France et les Ingénieurs qui désiraient se documenter sur cette importante question étaient obligés, soit de se livrer à des recherches dans de nombreux mémoires isolés ne traitant pas la matière à un point de vue doctrinal et correspondant presque toujours à une étude de cas particuliers, soit de s'inspirer des quelques très rares traités publiés à l'étranger et dont l'un d'eux a eu, il est vrai, les honneurs de la traduction en langue française.

M. C. Ratel, Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien directeur de Mines métalliques, a donc comblé une lacune sérieuse en publiant un traité pratique qui, rédigé dans une forme simple et sans prétention, donne au lecteur les moyens de résoudre les nombreux problèmes soulevés par la délicate question de l'enrichissement des minerais.

En matière de préparation mécanique, s'il existe des principes géné-

(1) In-8°, 225 × 140 de 110 p. avec 1 pl. et 16 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat 49, quai des Grands Augustins, 1908. Prix broché, 2 fr. 50.

(2) In-8°, 255 × 165 de 574 p. avec 190 fig. et 11 pl. Paris, 1908, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins. Prix: broché, 22,50 f.

raux directeurs, il n'y a pas de solution générale; aussi convient-il non seulement de faire un choix judicieux entre les appareils à employer et entre les méthodes à adopter, mais encore d'approprier ce choix aux minerais plus ou moins complexes que, dans chaque cas particulier, on voudra amener à des teneurs marchandes ou convenables pour le traitement métallurgique ; l'étude de tous les détails, l'examen critique de toutes les parties d'un atelier de préparation mécanique, s'imposent donc à celui qui veut faire une installation rationnelle et qui entend obtenir un rendement satisfaisant avec le minimum de frais de premier établissement.

Pour arriver à un tel résultat, Ingénieurs et constructeurs consulteront avec fruit, notamment, les graphiques tracés et analysés au début du traité et dont l'examen les renseignera sur les conditions de bonne marche de l'atelier projeté; ils s'inspireront avantageusement d'un important chapitre qui présente d'une façon simple la théorie générale de la préparation mécanique; ils liront enfin avec intérêt les chapitres suivants, consacrés aux appareils de broyage, y compris ceux employés dans le broyage à sec, à la classification par grosseurs, au classement d'après l'équivalence, à l'enrichissement par la chute dans l'eau ou par l'action des courants d'eau, au lavage enfin sur les tables les plus répandues.

Les explorateurs et toutes les personnes qui ont à procéder à des échantillonnages moyens rigoureux trouveront de bons conseils à suivre dans un chapitre spécial affecté à cette opération primordiale dont la méconnaissance a conduit aux plus lourdes fautes et aux plus coûteuses erreurs.

Les procédés spéciaux de séparation des corps présentant des densités très voisines les unes des autres, l'enrichissement par l'huile (méthode Elmore), le traitement électro-magnétique, le lavage à l'air, ainsi que l'établisssement et la conduite des laveries, sont décrits avec soin et leur exposé renferme des conseils pratiques constituant de précieux renseignements à mettre à profit pour les exploitants de mines métalliques.

L'ouvrage de M. C. Ratel, qui se termine par une description de plusieurs lavoirs à charbons, particulièrement examinés au point de vue de la formation des schlamms, présente, à côté d'aperçus originaux propres à l'auteur, des idées très nettes sur un grand nombre de questions fouillées par lui dans les moindres détails. Si son œuvre contient des critiques que certains trouveront peut-être imméritées, chacun appréciera le caractère pratique et documentaire qui se reflète dans tous les chapitres du traité de M. Ratel et, au moment où nous assistons à un réveil de l'exploitation des mines métalliques de France, sa publication vient à son heure; elle montre que les Français n'ont pas négligé l'étude des problèmes délicats que soulève la question de l'enrichissement des minerais et qu'ils savent solutionner ces problèmes rationnellement et scientifiquement dans l'intérêt de la mise en valeur et de la fructueuse exploitation des richesses minérales de notre pays.

H. C.

Ve SECTION

Actualités scientifiques, par M. Max de Nansouty (1).

Le tome IV des *Actualités scientifiques*, de M. Max de Nansouty était, on peut le dire, attendu par ses lecteurs qui se sont déjà habitués à s'initier par un coup d'œil d'ensemble aux nouveautés scientifiques de l'année avec l'agrément d'être instruits dans ce style si clair et si agréable du consciencieux vulgarisateur qu'est M. de Nansouty.

L'auteur expose tout d'abord, sous une forme des plus attrayantes, le problème de la *photographie des couleurs*, résolu par les plaques orthochromes des frères Lumière et la *téléphotographie* ou *photographie à grands distance*, réalisée par le savant professeur Korn, de Munich.

Ensuite ce sont toutes les conquêtes de la science les plus récentes, les progrès réalisés dans le dangereux labeur des *scaphandriers* qui fouillent la mer pendant que les *ballons dirigeables* et les *aéroplanes* s'envolent dans les airs. Les questions d'hygiène, *falsification des farines*, *conservation des denrées*, emploi des *pétrins mécaniques*, etc., sont traitées avec soin et avec actualité.

Nous trouvons aussi, et c'est une innovation dans le volume de 1907, une série de petites monographies nettes et instructives sur le *cuivre*, l'*étain*, le *platine*, le *plomb* et le *zinc*; leur fabrication y est décrite, sans aucune difficulté de compréhension, depuis le minerai originaire jusqu'au métal tel qu'il est livré à l'industrie en quantités de plus en plus considérables.

L'*Automobilisme* et la *mécanique* fournissent à l'auteur des chapitres pleins d'intérêt pour le lecteur.

Nombreux sont les autres sujets que M. de Nansouty fait défiler dans ce qu'on a appelé son *cinématographe scientifique annuel*. Nous ne pouvons les signaler tous. Nous nous contenterons de dire que ce volume continue l'intéressante série commencée en 1904.

F. C.

Manuel-formulaire des Sociétés par actions,
par M. Émile Lecouturier, avocat à la Cour d'appel de Paris (2).

L'accueil, très flatteur, fait au *Manuel pratique des Assemblées d'actionnaires*, du même auteur, et le reproche de n'avoir traité dans ce travail qu'une partie seulement de la matière des Sociétés par actions, le décidèrent à compléter son premier manuel par une étude générale, conçue dans le même esprit et rédigée dans le même style.

L'œuvre de M. Lecouturier, qui n'a pas la prétention d'être un traité

(1) In-8°, 205 × 130, de 316 p. Paris, Schleicher frères, 61, rue des Saints-Pères, 1907. Prix : broché, 3 fr. 50.

(2) In-8°, 180 × 110 de x-408 p. avec annexes. Paris, Larose et Tenin, 22, rue Soufflot, 1908. Prix broché : 5 f.

doctrinal et théorique, est essentiellement originale et pratique, s'adressant surtout aux administrateurs et aux financiers.

L'ouvrage est divisé en deux parties.

Dans la première, intitulée *Commentaire des Statuts*, l'auteur étudie tous les détails de l'organisation des Sociétés par actions et en particulier des Sociétés anonymes, c'est-à-dire les formalités de la constitution, la formation du capital à l'aide des apports en nature ou en espèces, l'enregistrement de l'acte social et le montant des droits exigibles, le régime des actions, la mission, les pouvoirs et les séances du Conseil d'administration, les fonctions du Commissaire des comptes, les Assemblées générales d'actionnaires, la constatation et la répartition des bénéfices, les modifications statutaires, la dissolution et la liquidation.

Pour ces diverses parties des Statuts, il est donné une formule pour chaque article, qu'il n'y aura plus qu'à adapter à chaque cas particulier. Le texte de chaque clause est, en outre, accompagné de l'exposé des questions de droit qu'elle soulève ainsi que de nombreux renseignements pratiques indispensables à ceux qui seraient chargés de les appliquer.

Ce commentaire pratique des statuts est complété par l'étude de trois questions spéciales, qui constituent la seconde partie de l'ouvrage : d'abord la question des formalités si importantes et si compliquées de la constitution de la Société ; puis celle des rapports des Sociétés par actions avec l'administration de l'enregistrement et enfin, la dernière constituant sous le titre de « Conseils pour la présidence de l'Assemblée générale » un guide parfait, prévoyant tout ce qui peut se présenter dans ces Assemblées si importantes.

L'ouvrage se termine par des formules rédigées avec le plus grand soin et résumant tous les points essentiels de la constitution d'une Société par actions.

L'œuvre de M. Lecouturier montre sa connaissance approfondie des questions si complexes de la constitution et de l'administration des Sociétés par actions. Aussi tous ceux, et ils sont nombreux, qui ont à fonder et à gérer une Société consulteront avec grand profit ce manuel rédigé avec ordre et clarté.

F. C.

VIe SECTION

Les Merveilles de l'Électrochimie, par E. GUARINI (1).

M. E. Guarini continue la série de ses travaux de vulgarisation scientifique, par une étude sur les applications de l'électrochimie. Il traite successivement de l'effet Joule et de l'arc voltaïque, de la soudure électrique, du traitement électrothermique des minerais, du diamant artificiel, des carbures et des siliciures, de l'électrolyse de l'eau, de la galvanoplastie, de l'affinage des métaux, du traitement électrolytique des

(1) In-8°, 245 × 160 de 168 p. avec 99 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins. Prix : broché, 5 f.

minerais, de l'électrolyse appliquée à la chimie organique, de l'analyse électrochimique, de l'ozone, de l'azote, etc.

Ce travail, illustré d'une centaine de figures, permet d'embrasser rapidement les applications de l'électrochimie.

La Télégraphie sans fil et la Télémécanique (1), par E. Monier.

Dans cette quatrième édition, l'auteur rend compte des dernières découvertes de la télégraphie sans fil et principalement des progrès de la syntonisation.

Il traite ensuite de la téléphonie sans fil et de la télémécanique dont les applications paraissent devoir être fort nombreuses.

L'auteur a réussi, en ne faisant intervenir que des connaissances élémentaires, à donner une idée fort nette des phénomènes de la télégraphie sans fil; il convient de l'en féliciter.

Génératrices électriques à courant continu, par Henry-M. Hobart. M. Inst. C. E., et F. Achard, Ingénieur à la Société Alsacienne de Constructions mécaniques (2).

Les six premiers chapitres de cet ouvrage sont la traduction presque littérale de l'ouvrage anglais de M. Hobart « Ellemantary Principles of Continuous Current Dynamo Design ».

On s'est efforcé, dans toute cette première partie, de présenter toutes les questions sous leur forme la plus simple et la plus pratique, en évitant les développements compliqués et les théories ambitieuses. On a estimé que le lecteur qui se serait assimilé parfaitement la matière de ce volume pourrait toujours passer à l'étude d'ouvrages plus détaillés ou plus spécialisés.

La seconde partie de cet ouvrage est destinée à illustrer, par une série d'exemples empruntés à la pratique des constructeurs de différents pays, les méthodes indiquées dans la première partie; elle contient les spécifications détaillées de génératrices à courant continu dont la puissance est échelonnée de 100 à 1 250 kilowatts. Ces spécifications pourront souvent fournir d'utiles indications au calculateur, en lui offrant des points de comparaison avec les projets qu'il a lui-même à étudier.

(1) In-16, 185 × 120 de VIII × 178 p. avec 22 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 2 f.

(2) In-8°, 285 × 180 de 275 p. avec 151 fig. Paris, VIe, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 15 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 18674-10-08. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

NOVEMBRE 1908

N° 11

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de novembre 1908, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

Emploi de l'épicéa comme poteaux télégraphiques et téléphoniques et du hêtre à cœur rouge comme billes de chemins de fer. Rapport présenté au nom de la Commission spéciale du Conseil supérieur des Forêts (in-8°, 230 × 155 de 32 p.). Bruxelles, Imprimerie F. Vanbuggenhoudt, 1908. (Don de la Commission spéciale du Conseil supérieur des Forêts.) 45668

Chemins de Fer et Tramways.

Electric Railway Journal. A. Dictionary of Electric Railway Material. Edition of 1908 (in-8°, 225 × 150 de 202 p. à 2 col.). New-York, Mc Graw Publishing Company. 45659

KROITZSCH (A.). — *Die Katastrophe von Ponts-de-Cé*, von August Kroitzsch (Sonderabdruck aus der « Oesterreichischen Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst » Heft 4, 1908) (in-4°, 335 × 260 de 4 p. à 2 col. avec 3 pl.). Wien, Druck von R. v. Waldheim, 1908. (Don de l'auteur.) 45674

LANCRENON (H.). — *Note sur les nouveaux Wagons à primeurs et les nouveaux Wagons à marchandises de 20 T de la Compagnie P.-L.-M.*, par M. Henri Lancrenon (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways (N° de Juillet 1908) (in-4°, 315 × 225 de 16 p. avec 27 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don de M. l'Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction.) 45661

Chimie.

BOURREY (G.). — *L'Eau dans l'Industrie*, par Georges Bourrey (Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du Dr Toulouse. Bibliothèque des Industries chimiques. Directeur : Juvénal Derôme) (in-18, 185 × 120 de XXIV-464-XII p. avec 53 fig.) Paris, Octave Doin et fils, 1909. (Don des éditeurs.) 45657

Construction des Machines.

Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur du Nord de la France. Exercice 1906-1907, XXIVe Bulletin (in-8°, 255 × 165 de 204 p. avec fig.). Lille, L. Danel, 1907. 45621

Économie politique et sociale.

Chambre de commerce de Dunkerque. Situation commerciale et industrielle de la Circonscription. Statistique maritime et commerciale des Ports de Dunkerque et de Gravelines. 1907 (in-8°, 250 × 165 de XXXIX-238 p.). Dunkerque, Imprimerie Dunkerquoise, 1908. 45619

Compagnie générale des Voitures à Paris. Assemblée générale annuelle du 28 Avril 1908. Rapport du Conseil d'Administration sur les Comptes de l'Exercice 1907 (in-4°, 310 × 240 de 30 p. avec 10 tabl.). Paris, Maulde, Doumenc et Cie, 1908. 45622

HANREZ (P.). — *Sénat de Belgique. L'Annexion du Congo et ses conséquences pour la Belgique.* Discours de Prosper Hanrez, Sénateur de l'Arrondissement de Bruxelles, d'après Les « Annales Parlementaires » (in-8°, 210 × 135 de 59 p.). Bruxelles, Imprimerie du Progrès, V. Feron, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45660

Société de Secours des Amis des Sciences. Compte rendu du cinquante et unième Exercice. Quarante-cinquième séance publique annuelle tenue le 25 juin 1908 au Cercle de la Librairie (in-8°, 215 × 135 de 128 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. 45673

Électricité.

BAILLEHACHE (Cte DE). — *Unités électriques*, par le Comte de Baillehache (in-8°, 255 × 165 de x-202 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45665

Étude du retour par la terre des Courants industriels. Expériences exécutées entre Lancey et Grenoble en 1906-1907 (in-4°. 320 × 245 de xv-147 p. avec tableaux et planches). Grenoble, Allier frères, 1908. (Don de MM. E. Harlé, M. de la S., L. Barbillion et E. Brylinsky.) 45630

PICARD DU CHAMBON (R.). — *Théories des Phénomènes électriques avec extension à la chaleur, l'optique et l'acoustique et de la Mécanique basées sur l'influence*, par René Picard du Chambon (in-8°, 215 × 135 de 136 p.). Paris, H. Desforges, 1908. (Don de l'éditeur.) 45651

VIEWEGER (H.). CAPART (G.). — *Recueil de Problèmes avec Solutions pratiques*, par H. Vieweger. Traduction française de G. Capart (in-8°, 255 × 165 de xv-309 p. avec 174 fig. et 2 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don des éditeurs.) 45658

Géologie et Sciences naturelles diverses.

DESSOLIERS (H.). — *Contributions diverses à l'Hydrogenèse. Première partie et Seconde partie*, par Hippolyte Dessoliers (in-8°, 270 × 190 de 170 p. avec 4 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1908. (Don de l'auteur.) 45655

RECLUS (O.). — *Manuel de l'Eau.* Suite et Complément du Manuel de l'Arbre pour servir à l'enseignement Sylvo-Pastoral dans les Écoles, par Onésime Reclus (Touring-Club de France) (in-4°, 280 × 240 de 105 p. à 2 col. avec photog.). Paris, Touring-Club de France. (Don de l'éditeur.) 45676

Législation.

Charter; Supplemental Charter, By-Laws and List of Members of the Institution of Civil Engineers 1 July 1908 (in-8°. 215 × 135 de 294 p.). London, Published by the Institution, 1908. 45643

The Institution of Electrical Engineers. Articles of Association and List of Officers and Members. Corrected to August 31 st. 1908 (in-8°, 215 × 135 de 254 p.). Woking and London, The Gresham Press, Unwin Brothers, Limited. 45644

Métallurgie et Mines.

BEL (J.-M.). MORNET (J.). — *Gisements miniers et Projets de Chemins de fer au Congo*, par J.-M. Bel. *Chemin de fer de Brazzaville à l'Océan*, par le Capitaine du Génie J. Mornet (Extrait du Bulletin de la Société Française des Ingénieurs Coloniaux) (in-8°, 245 × 160 de 49 p. avec photog.). Paris, G. Lenormand, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45669

BEL (J.-M.). — *L'Industrie Minière et les Voies de Communication au Congo Français*, par M. J.-Marc Bel (Congrès Colonial de Bordeaux, Août 1907) (in-8°, 240 × 155 de 9 p.). Bordeaux, Imprimerie Commerciale et Industrielle, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45670

Bel (J.-M.). — *Les Richesses Minérales du Congo Français*, par J.-M. Bel. Communication faite à l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Section de Liège) le 10 mai 1908 (Extrait de de la Revue Universelle des Mines, etc. Tome XXII, 4e série, page 291, 52e année, 1908) (in-8°, 240 × 160 de 25 p. avec 1 pl.). Liège, Paris, H. Le Soudier, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45671

Bücher-Verzeichnis des Vereins für die bergbaulichen Interessen im Oberbergamtsbezirk Dortmund zu Essen. 3 Ausgabe. Nachtrag 1908 abgeschlossen 30, Juni (in-8°, 270 × 190 de 494 p.) (pages 817 à 1310). Berlin, Druck H. S. Hermann, 1908. (Don des Vereins für die bergbaulichen Interessen im Oberbergamtsbezirk Dortmund.) 45675

The Mineral Industry its Statistics Technology and Trade during 1907. Volume XVI. Supplementing Volume I to XV (in-8°, 240 × 160 de x-1127-16 p.). New-York, London, Hill Publishing Company, 1908. 45645

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Bulletin de l'Association technique maritime N° 19. Session de 1908 (in-8°, 270 × 175 de LXII-226 p. avec 1 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. 45667

Bunau-Varilla. — *Documents relatifs au Canal de Panama (1892-1907)* (8 volumes reliés, de différents formats, I à X). (Don de l'auteur.) 45631 à 45640

Hersent (G.). — *Mise au point de notre Outillage maritime. Ports et Canaux*, par Georges Hersent. Communication faite le 10 avril 1908 à la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale (in-4°, 280 × 225 de VII-89 p. avec 15 pl. et 1 carte). Paris, Philippe Renouard. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45647

Lemos (A.). — *Obras do Porto do Rio de Janeiro. Divisão technica 1a Secção. Serviço Hydrographic.* Estudo de Marés e Correntes. Determinação das constantes da Maré, pela Analyse Harmonica de um longo periodo de observações pelo Engenheiro Alix Lemos (in-8°, 275 × 185 de 134-XXXI p.). Rio de Janeiro, Typographia Lenziger, 1908. (Don de M. A. Lisboa, M. de la S.) 45653

Paula Bicalho (F. de). — *Exposição do Plano para a realização do Melhoramento des Portos da Republica e Projecto para o prolongamento das Obras do Porto do Rio de Janeiro a que se refere o Decreto N. 6786 de 19 de Dezembro de 1907*, por F. de Paula Bicalho (Ministerio da Industria, Viação e Obras publicas) (in-8°, 235 × 160 de 77 p. avec 4 pl.). Rio de Janeiro, Imprensa nacional, 1908. (Don de M. A. Lisboa, M. de la S.) 45652

Physique.

Claude (G.). d'Arsonval. — *Air liquide, Oxygène, Azote*, par Georges Claude. Préface de M. d'Arsonval, Membre de l'Institut (in-8°, 255 × 165 de 399 p. avec 149 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don des éditeurs). 45654

Routes.

Nivellement général de la France. Répertoire des emplacements et altitudes des repères. Réseau de troisième ordre et première partie du réseau de quatrième ordre. Lignes comprises dans le polygone C. de premier ordre. Deuxième fascicule; F'. Troisième fascicule. Lignes comprises dans la zone O, de premier ordre. Deuxième fascicule; S. Premier fascicule et Deuxième fascicule; Lignes comprises dans le polygone Y, de premier ordre. Deuxième fascicule et Troisième fascicule (7 brochures in-8°, 265 × 180). Nantes, Schwob et C[ie], 1906. (Don de M. Ch. Lallemand.) 45623 à 45629

Sciences mathématiques.

Arnovlevic (J.). — *Zur Kraftverteilung in Genieteten Stäben*, von Ing. Arnovlevic (Sonderabdruck aus der « Oesterr. Wochenschrift für den Öffentlichen Baudienst ». Heft 34, 1908) (in-8°. 230 × 255 de 29 p. avec 1 pl.). Wien, R. v. Waldheim, 1908. (Don de l'auteur.) 45620

Technologie générale.

Atti della R. Accademia dei Lincei. Anno CCCV. 1908. Rendiconto dell'Adunanza solenne del 7 Giugno 1908. Vol. II, pages 351 à 394 (in-4°, 300 × 220 de 44 p.). Roma, Tipografia della R. Accademia dei Lincei, 1908. 45648

1[er] Congrès de la Route. Paris, 1908. Rapports. Communications. Catalogue et Documents divers (132 brochures de différents formats). Don de M. A. Loreau, M. de la S.) 45656

V[me] Congrès international cotonnier Paris, Juin 1908. Rapports et Documents divers (11 brochures, in-8°, 245 × 155). (Don de M. le Secrétaire général du Congrès.) 45650

Deinhardt-Schlomann, Schlomann (A.), Schikore (K.). — *Dictionnaires techniques illustrés en six langues : Français, Anglais, Allemand, Russe, Italien, Espagnol* rédigés suivant une méthode spéciale (Deinhart-Schlomann, par Albert Schlomann. *Tome IV. Moteurs à combustion interne*, publié sous la direction de Karl Schikore (in-16°, 175 × 105 de x-618 p. avec plus de 1000 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45663

LORENZ (O.), JORDELL (D.). — *Catalogue général de la Librairie Française*. Continuation de l'ouvrage d'Otto Lorenz (Période de 1840 à 1885 : 11 volumes). *Tome dix-huitième (Période de 1900 à 1905)* Rédigé par D. Jordell (in-8°, 245 × 155 de 804-VII p. à 2 col.). Paris, Librairie Nilsson. Per Lamm, Succr, 1908. 45662

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLXXII. 1907-8. Part. II (in-8°, 215 × 135 de VII-407 p. avec 6 pl.). London, Published by the Institution 1908. 45642

Premier Congrès international du Froid. Paris, du 5 au 12 Octobre 1908. Rapports et Documents divers (12 brochures de différents formats). (Don de M. le Secrétaire général du Congrès.) 45649

The Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. 1908. Parts. 1-2 (in-8°, 215 × 135 de XXXII-550 p. avec 14 pl.). Westminster S. W., Published by the Institution. 45672

Travaux publics.

ARAGON (E.). — *Ponts et Ouvrages en maçonnerie*, par Ernest Aragon (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-16, 185 × 120 de XI-560-16 p. avec 362-15 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don des éditeurs.) 45646

Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe. Exercice 1906. Fascicule vingt-troisième. Procès-verbaux des séances. Rapports de la Section technique suivis d'un Appendice (avec 7 planches) (in-8°, 245 × 160 de III-165 p.). Le Caire, Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1907. 45664

GRANGER (A.). — *Pierres et Matériaux artificiels de construction*, par Albert Granger (Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du Dr Toulouse. Bibliothèque des Industries chimiques. Directeur : M. Juvénal Derôme) (in-18, 185 × 120 de VIII-312-XII p. avec 55 fig.). Paris, Octave Doin, 1908. (Don de l'éditeur.) 45641

VAILLANT (A.). — *Technique de la Peinture à l'huile dans les travaux de bâtiment*, par A. Vaillant (in-8°, 245 × 160 de XX-215 p.). Paris, Ch. Béranger, 1908. (Don de l'éditeur.) 45666

ERRATUM

Bulletin n° 10. — Octobre 1908. — *Planche 169*. Tableau des moteurs à deux temps. — Moteur Peugeot-Tony Huber : lire 110 × 140, au lieu de 140 × 140.

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de novembre 1908, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

E. André, présenté par MM. Cottarel, Lambert, Papin.
G. Arnaud, — Brüll, Bel, Wurgler.
J. Boeswillwald, — Chanoit, Bouillette, Lebon.
J. Bouygues, — Armengaud, Brosse-Duplan, Jourdain.
W. Brandes, — Court, Lafarge, Mauroy.
A. Brossier, — Piat, Muller, Eissen.
L. Charalansky, — Delaunay, Faullain de Danville, Vattier.
S. Corcotsaky, — Bodin, Fleury, Da Cunha.
G. Couade, — Barbet, Jubeau, de Levallos.
H. Jarnier, — Clamens, Lavoix, Lorin.
L. Ganet, — Reumaux, Deschamps, de Dax.
G. Gouin, — Bodin, Gouin, Roland Gosselin.
W. Kopp, — Reumaux, Gruner, Bousquet.
G. Lambert, — Lambert, Papin, Taveau.
R. Legouëz, — Mejean, Latour, Sauvage.
A. Singrün, — Reumaux, Gin, de Dax.
J. Singrün, — Reumaux, Gin, de Dax.
L. Ventou-Duclaux, — Loreau, Longuemarre, Lumet.
Ch. Yaher, — Popineau, Salmson, Vizet.

Comme Membre Sociétaire Assistant, M. :

P. Dibos, présenté par MM. Cavallier, de Dax, Legrand.

Comme Membre Associé, M. :

E. Prigent, présenté par MM. Defauconpret, Mazen, Michaut.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1908

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 6 NOVEMBRE 1908

Présidence de M. E. Reumaux, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître les décès de MM. :

Albert de Biedermann, ancien Élève des Écoles Polytechniques de Vienne et de Karlsruhe, membre de la Société depuis 1896. Vice-Président de la Régie générale des chemins de fer, officier de la Légion d'honneur ;

M. L. Langlois, membre de la Société depuis 1892, ancien élève des Arts et Métiers d'Angers (1866) : fut ingénieur chef de service aux Établissements Cail, puis ingénieur civil. M. Langlois était un spécialiste en matière de résistance des matériaux et fit à la Société d'importantes communications en 1893, 1896 et 1898. L'une d'elles lui valut, en 1894, le Prix Annuel de la Société. Il fut membre du Comité de 1898 à 1901.

A. Henry-Lepaute, ancien Élève de l'École Centrale (1895), membre de la Société depuis 1898. Administrateur-délégué de la Société des établissements Henry-Lepaute ;

H. Pérès, ancien Élève de l'École Centrale (1894), membre de la Société depuis 1899. Ancien Ingénieur de la distribution d'eau de la ville d'Oran. A rempli différentes missions, à Madagascar, pour les mines d'or.

Enfin, M. Chapman Henry, Membre de la Société depuis 1871.

M. Chapman débuta, en 1852, chez MM. Sharp, Stewart et C°, de Manchester, qui, peu de temps après, l'envoyèrent se fixer à Paris pour

y représenter leur maison. Il fut le premier à introduire en France, et dans les autres pays du Continent, un grand nombre de machines-outils et d'appareils divers tels que : la pompe à incendie à vapeur, la chaudière Field, le foyer ondulé Fox, les moteurs de Brotherhood et ses compresseurs d'air pour torpilles, les riveuses et diverses autres outils hydrauliques, presses spéciales, etc.

En même temps, il acquérait le droit exclusif de fabrication, tant en Angleterre qu'en Amérique, de l'injecteur, dû à l'esprit inventif de notre regretté collègue Giffard, et qui se répandit ainsi avec rapidité.

M. Chapman, au bout de quelques années, retourna en Angleterre pour y fonder un bureau analogue à celui de Paris, laissant ce dernier aux soins de notre collègue, M. Vaslin, qui, d'abord son collaborateur, devint ensuite son Associé.

Chapman a été secrétaire honoraire de l'Institution of Mechanical Engineers, de l'Iron and Steel Institute, Administrateur d'un grand nombre de Sociétés ayant pour but spécial la fourniture et la distribution d'eau dans les grandes villes anglaises. Il était Membre de l'Institution of Civil Engineers, de l'Institution of Mechanical Engineers, de l'Iron and Steel Institute, de l'Institution of naval Architects. Il avait également accepté les fonctions de Membre correspondant de notre Société en Angleterre et nous trouvions toujours auprès de lui un collaborateur dévoué et ardent, qui prenait au mieux nos intérêts.

Le Gouvernement français, en 1878, le nommait Chevalier de la Légion d'honneur et il était promu, en 1889, Officier de la Légion d'honneur, à la suite de l'Exposition Internationale où il fut un des principaux promoteurs de l'Exposition retrospective et Commissaire délégué de la classe des chemins de fer.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les décorations suivantes :

M. C. Desgorces a été nommé officier de l'Instruction publique.

M. Bizet a été nommé chevalier de Léopold de Belgique.

M. J. Philbert a reçu la médaille d'honneur, en argent, des épidémies,

Enfin M. E. Vautelet, membre correspondant de la Société au Canada, vient d'être désigné pour faire partie, au titre de Président, du bureau nommé par le Gouvernement canadien pour préparer les plans et surveiller les travaux du pont de Québec. Ce bureau est composé de trois Ingénieurs et deux d'entre eux, y compris M. Vautelet, sont anciens élèves de l'École Polytechnique et de l'École des Ponts et Chaussées de Paris,

M. le Président félicité au nom de la Société nos Collègues pour leurs décorations et nominations.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains bulletins.

M. le Président porte à la connaissance des Membres de la Société les avis suivants :

1° Le septième Congrès international de chimie appliquée se tiendra à Londres, du 27 mai au 2 juin 1909.

Le Comité français d'organisation de ce Congrès vient de se constituer sous la présidence d'honneur de MM. Schloesing et Troost et la présidence effective de M. Armand Gautier, membre de l'Institut. Notre Vice-Président, M. E. Barbet, a été nommé l'un des Vice-Présidents de ce Comité.

2° Un congrès international des applications du moteur à mélange tonnant et du moteur à combustion interne aux marines de guerre, de commerce, de pêche et de plaisance doit avoir lieu du 24 au 29 décembre prochain, à l'occasion de l'Exposition internationale de l'Automobile.

Ce congrès, organisé sous les auspices de l'Automobile Club de France, a comme Président, M. A. Loreau, ancien Président de la Société et comme Secrétaire Général, M. G. Lumet, Secrétaire technique de la troisième Section.

Le Comité a désigné le Président de la Société et M. E. Barbet, Vice-Président, pour faire partie du Comité de Patronage de ce Congrès.

3° Le Meeting annuel de l'American Society of Mechanical Engineers aura lieu, à New-York, du 1 au 4 décembre prochain.

4° Le Congrès national mixte des Industries du Bâtiment se tiendra en 1909 et s'occupera plus spécialement des moyens à apporter pour remédier à la crise de l'apprentissage.

Sur la demande de la Commission permanente de ce Congrès, M. le Président engage vivement tous les Membres de la Société à participer à ces réunions où les discussions ne manqueront pas d'être intéressantes sur un sujet qui touche à une des questions vitales de l'Industrie de notre pays.

Les documents concernant ces divers Congrès et réunions sont déposés au siège de la Société à la disposition des membres de la Société qu'ils pourraient intéresser.

M. A. Loreau a la parole pour faire le compte rendu du récent *Congrès de la Route*.

M. A. Loreau rappelle l'importance du Congrès de la Route.

27 gouvernements étrangers (la presque totalité du Monde civilisé), 56 départements français, 193 villes, 184 associations s'étaient fait représenter.

Le Congrès réunit plus de 2 250 adhérents et les questions à traiter étaient divisées en huit Sections.

Le nombre des rapports a dépassé 100, dont 38 fournis par la France, 19 par la Grande-Bretagne, les autres par l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, les États-Unis, l'Italie, le Portugal et la Suisse.

Ces rapports étaient ensuite résumés par des rapporteurs généraux et après discussion des conclusions étaient votées.

M. Loreau fait connaître brièvement quelles étaient les tendances de chacune et les résolutions prises.

La première question (rapporteur M. Renardier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Orléans) était relative à *La route actuelle*.

Le rapport montre la nécessité d'établir la route sur des fondations solides et résistantes afin d'éviter l'usure de la chaussée.

A ce sujet, M. Loreau rappelle que le premier Ingénieur qui ait appliqué à la construction des routes des fondations solides et bien comprises, est Trésaguet, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, sous le Ministère Turgot. C'est en 1775 qu'il montrait l'importance de mettre d'abord une fondation en grosses pierres, d'en garnir ensuite les intervalles avec des cailloux moyennement gros, et de terminer enfin, par-dessus, la construction de la route proprement dite, le tout d'après certaines règles bien établies.

A la suite de l'application en France du système dû à Mac Adam, on avait abandonné les procédés de Trésaguet. Il semble, aujourd'hui, avec l'importance nouvelle de la circulation sur les routes, qu'il soit nécessaire de revenir aux principes de l'ancien système.

La deuxième Section (rapporteur M. Michaux, Agent-voyer-chef honoraire) s'est plus spécialement occupée de *L'entretien de la route* et a demandé que les reprises et les rechargements soient faits en temps voulu, avant que la dégradation commence à se produire manifestement, et qu'ils soient faits, en principe, sur toute la largeur de la chaussée, en réservant toutefois un passage permanent pour la circulation, soit sur l'accotement, soit en rechargeant la chaussée dans sa largeur, en deux fois.

La troisième Section (rapporteur M. le docteur Guglielminetti, fondateur et Président de la Ligue contre le Poussière) s'est plus spécialement occupée de *La lutte contre la poussière*.

Les routes pavées, quand elles sont bien entretenues et bien arrosées donnent certainement le minimum de poussière, mais elles produisent du bruit et des désagrégations dans les véhicules. Une chaussée élastique semble, par suite, préférable. Il faut donc arriver à trouver à la fois la résistance et la souplesse de la route.

Divers rapports exposent les résultats obtenus grâce aux soins qui ont été donnés à la construction de la route et plus spécialement par le goudronnage. Lorsque ce dernier est fait au moment voulu, que les matières d'agrégat en sont suffisamment enrobées et enfin, que le goudronnage est entretenu, ce système paraît devoir être des plus intéressants.

La quatrième Section (rapporteur M. Guillain, ancien ministre et Directeur honoraire des routes) avait à traiter de *La route future*.

Il n'a pas été indiqué de procédés nouveaux pour solutionner la question. Les vœux émis ont consisté surtout à obtenir des modifications des tracés des routes, une augmentation des rayons de courbes, surélévation des virages du côté extérieur, dégagement de la vue dans les virages et croisées de route, etc. Ils terminaient par diverses considérations relatives, soit au choix du pavé, soit à celui de l'empierrement.

La cinquième Section (rapporteur M. Walckenaer, Ingénieur en chef des Mines) traitait des *Effets des véhicules sur les routes*.

Des rapports et des résultats qui ont été fournis, on a été fort étonné

de tirer la conclusion que l'automobile n'était pas, comme on l'en accusait, la cause de tous les maux.

C'est ainsi que, dans un rapport, on trouve que « les dégradations dues à ces véhicules sont de peu d'importance »; plus loin, « les routes unies reçoivent des véhicules le minimum de dommages ».

La sixième Section (rapporteur M. Lumet, Ingénieur de la Commission technique de l'A. C. F. et Membre de notre Société) s'occupait des *Effets de la route sur les véhicules.*

M. Lumet, dans une étude fort documentée, a montré que, par suite du principe de l'action et de la réaction, si l'automobile use la route, c'est que celle-ci à son tour ne présente pas les conditions normales de roulement, usant par réciproque les organes de l'automobile.

En résumé, la conclusion peut être la suivante : Remettez les routes en bon état, donnez-nous de bonnes routes et l'automobile ne leur fera pas mal.

La septième Section (rapporteur M. Chaix, Président de la Commission de tourisme) avait à étudier la question des *Signaux de la route.*

Après un échange de vues et des rapports très intéressants, le nombre des signaux internationaux a été limité à quatre.

La huitième Section (rapporteur M. Limasset, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Laon) a étudié *Les services des transports.*

Les conclusions ont été, en ce qui concerne les « Poids lourds », qu'il convenait de limiter le poids par essieu, à 5 t pour les marchandises avec vitesse moyenne de 10 km et maxima de 15 km, et pour les voitures de voyageurs à 4 t avec vitesse moyenne de 16 km et maxima de 25 km.

Enfin, un rapport fort remarquable de M. Renardier donnait des renseignements des plus intéressants et des plus précis sur le réseau de nos routes françaises qui comprennent :

38 179 km de routes nationales, 14 564 km de routes départementales et 525 172 km de routes cantonales, communales et chemins vicinaux, soit au total 577 915 km, représentant une valeur de 5 700 millions de francs.

Il est à remarquer qu'alors que nos routes nationales atteignent 38 179 km, nos voies ferrées en représentent 38 892, soit presque la même longueur.

D'un autre rapport, il semble résulter que pour qu'il y ait une détérioration sensible de la route, il faut compter une circulation journalière de quarante automobiles au moins. Enfin, un dernier point fort intéressant était que la plupart de nos départements ont constaté que les automobiles n'abîmaient pas leurs routes, sauf la Seine, sur la totalité de son réseau, puis la Seine-Inférieure et, enfin, quelques autres départements plus particulièrement fréquentés. Le tout ne donne qu'un total d'environ 2 000 km sur la totalité des 38 000 constituant le réseau national.

La conclusion générale semble donc constater que l'automobile n'est pas la cause absolue de la dégradation dont il avait été question et qu'au contraire, si les routes étaient convenables, elles laisseraient

circuler facilement les automobiles sans subir de dégradations et par réciproque sans user le véhicule.

M. Loreau montre ensuite l'intérêt qu'il y a à solutionner le plus rapidement possible ces questions des moyens de transports.

Il montre que l'augmentation du réseau de chemins de fer n'a pas eu, comme on pourrait le croire, comme résultat de diminuer la circulation sur les grandes routes. C'est ainsi qu'en 1851 on comptait sur les routes nationales un chiffre moyen de 244 colliers, alors que les chemins de fer ne dépassaient pas 3500 km. En 1905, alors qu'ils atteignent près de 38000 km, le nombre de colliers sur route est de 251.

La circulation sur les routes est donc restée la même. La circulation des chemins de fer n'a pas diminué non plus, car alors qu'il y avait trois voyages et demi en moyenne, en 1877, par habitant, il s'en trouve onze en 1905.

En somme, la navigation, les chemins de fer, les routes, se sont développés parallèlement, et c'est là un résultat qui montre la marche constante vers le progrès.

M. Loreau termine en espérant voir bientôt un autre mode de transports qui, certainement, ne fera tort ni à la construction, ni au bon état de nos routes : la circulation aérienne.

M. le Président dit qu'il éprouve un plaisir particulier à remercier M. Loreau de l'attention qu'il a eue de résumer devant ses collègues les résolutions prises au Congrès de la Route. Ce Congrès a brillamment réussi, et les questions qui y ont été traitées offrent un égal intérêt pour les Ingénieurs et pour le public.

M. P. du Bousquet a la parole pour sa communication sur le *Halage électrique des canaux.*

M. P. du Bousquet, après avoir indiqué les inconvénients du halage par chevaux sur les voies à fort trafic, fait l'historique de la traction mécanique. Il rappelle l'insuccès du halage par locomotives à vapeur sur les canaux d'Aire et de la Deûle.

En 1895, le « cheval électrique » de M. Galliot est mis à l'essai sur le canal de Bourgogne, et donne d'intéressants résultats; c'est un tricycle dont les roues motrices sont commandées par un moteur électrique bipolaire par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Peu après, la Société de Traction Électrique sur les canaux du Nord applique un tracteur, genre Galliot, renforcé, à l'exploitation des canaux d'Aire, de la Deûle et de la Dérivation de la Scarpe sur 55 km, tandis que M. Gérard équipe le canal de Charleroi. Mais la traction sur berges présente de nombreux inconvénients : coût élevé d'entretien de la chaussée et du matériel, faible rendement, puissance insuffisante.

Les expériences entreprises en Allemagne sur le canal de Teltow, et en France sur la Sensée montrent les avantages qu'on peut attendre du halage par tracteur sur rail, et les essais poursuivis en service normal, entre Douai et Auby, par la Compagnie Électrique du Nord (1904) confirment ces conclusions.

Après ce rapide historique, M. du Bousquet expose les donnees du

problème du halage : il insiste sur la détermination de la vitesse économique de halage, sur la nécessité absolue de traîner les bateaux par rames, enfin sur la question du démarrage.

Le halage par tracteur sur rails a reçu en Europe deux importantes applications : en France, sur les canaux du Nord, en Allemagne sur le canal de Teltow.

M. du Bousquet décrit les installations de la Société de halage Électrique qui assure l'exploitation de la traction sur les canaux d'Aire, de la Deûle, la dérivation de la Scarpe et la Sensée, entre Béthune et le Bassin-Rond, sur 83 km, et dessert les rivages de nombreuses Compagnies houillères embarquant ensemble plus de 3 500 000 t par an.

Le tracteur symétrique de la Société de Halage pèse 10 t; il comporte deux moteurs de 20 ch sous 500 volts, qui fonctionnent généralement en série. Il traîne trois bateaux à la vitesse de 3 km, le rendement global,

$$\frac{\text{Travail utile produit}}{\text{Energie consommée}} \text{ dépassant } 70 \text{ 0/0}.$$

La traction s'effectue sur une seule berge.

A Teltow, au contraire, des voies ont été placées sur les deux berges du canal; le tracteur dissymétrique, actionné par deux moteurs de 8 1/2 ch marchant en parallèle, porte deux engins spéciaux : un treuil auxiliaire de démarrage et une flèche mobile permettant de relever la corde de traction.

Regrettant vivement l'absence de M. Léon Gérard, M. du Bousquet donne quelques indications sur le tracteur américain à adhérence proportionnelle. Il ne croit pas que, sauf dans des cas spéciaux, cet engin soit supérieur aux tracteurs type allemand ou français, qui ont fait leurs preuves, pour l'exploitation d'un ensemble important de canaux à trafic intense.

Sur les canaux du Nord, l'adoption de la traction électrique a constitué une transformation des conditions de l'exploitation : cette transformation coïncide avec d'importants travaux d'améliorations de la voie navigable, actuellement en cours, et une meilleure organisation des chargements aux rivages des mines.

C'est une ère nouvelle qui commence pour la batellerie si les mariniers savent profiter des avantages qui leur sont offerts.

M. le Président remercie M. P. du Bousquet de sa communication intéressante et qui met fort nettement en évidence le progrès marqué que le halage électrique a réalisé dans la traction des bateaux.

M. M. Dibos a la parole pour sa communication sur *Les glaces de mer, glaces de rivières, manœuvres de préservation et de déglaçage.*

M. M. Dibos décrit tout d'abord les phénomènes glaciaires comprenant la formation des glaces marines, et ensuite les différentes variétés de glaces : Icebergs, Iceblocks, Icefeet, Flodis, Bayices, Icefields, Toross et Hummocks, etc., en suivant une nomenclature raisonnée qu'il croit plus convenable pour fixer les idées, et déterminer les types glaciaires

les plus ordinairement rencontrés errants, flottant au large, ou soudés aux banquises arctique et antarticque.

M. Dibos décrit ensuite les aspects, le volume et les couleurs des icebergs, iceblocks, et spécifie les immenses surfaces des icefields mobiles ou fixes qui sont la caractéristique des productions polaires, etc.

Le conférencier donne la description des phénomènes qui précèdent, accompagnent, ou suivent la congélation de la mer, et indique les phases par lesquelles passe la masse liquide pour se solidifier.

M. Dibos relate les scènes maritimes de congélation dont il a été témoin dans les mers septentrionales du globe.

Notant les conditions des débâcles naturelles, il montre les routes océaniques fréquentées par les glaces, de dimensions grandes et moyennes, et, par de multiples exemples, fait voir combien dangereuses sont les rencontres de ces masses glacées avec les navires que la malchance ou des manœuvres insuffisantes mettent en contact avec ces terribles obstacles soudain dressés dans la brume.

Par de nombreuses projections de clichés pris aux îles Saint-Pierre, Miquelon, à Terre-Neuve, à la Terre François-Joseph, au Spitzberg, au Groenland, au Cap Breton, sur la côte nord-est d'Amérique, et en pleine mer, on se rend mieux compte de la nécessité de connaître la science glaciologique qui ouvre les portes du laboratoire formidable de la nature.

Le conférencier indique les parallèles jusqu'où descendent les glaces flottantes entraînées par les courants venant des Pôles et se dirigeant vers l'Équateur. On est surpris de constater que de grands icebergs viennent jusqu'au 42e degré de latitude et jusqu'au 56e degré de longitude nord, soit à peu près le parallèle de New-York à Madrid, dans l'Océan Atlantique nord.

M. Dibos examine ensuite les moyens aptes à créer la préservation contre les glaces flottantes, et met en garde les ingénieurs et les navigateurs contre les fausses indications que peuvent donner les températures sous-aquatiques, en ce qui a trait au pronostic de la proximité des glaces dérivantes.

M. Dibos clôt la partie maritime de son exposé par des descriptions de cheminement d'icebergs à contre-vent et à contre-courant de surface, remontant par conséquent, entraînés qu'ils sont par les courants sous-marins ayant une forte prise sur la partie immergée de ces montagnes de glace, qui plongent des quatre cinquièmes ou des six septièmes suivant que la glace est plus ou moins bulleuse.

Le conférencier expose des considérations sur le gel des eaux encloses, peu profondes, peu saumâtres et douces, et étudie les phénomènes glaciaires des fleuves, estuaires, rivières, canaux ; il se déclare partisan des théories générales de Brauns, Desmarets et Daguin, comme aussi de certaines idées émises par M. Lotkine, Ingénieur des Ponts et Chaussées en Russie, au sujet de la présence de la bouillie de glace cheminant entre deux eaux dans les grands fleuves septentrionaux.

Le phénomène du regel crée des embâcles dangereuses sur les voies d'eaux intérieures. De nombreuses projections de nos grands fleuves, gelés à diverses périodes d'intensité de froid, montrent l'immobilisation totale ou partielle des « chemins qui marchent ».

Puis, M. Dibos résume le programme des travaux que les techniciens peuvent être appelés à résoudre en pareilles et sérieuses occurrences :

« α) Se débarrasser des glaces, sur les eaux dormantes, de façon à obtenir le plus large espace possible de nappe d'eau libre ;

« β) Disloquer, sur les eaux courantes, une embâcle et rétablir un chenal libre, en vue d'assurer, sans accidents, la débâcle régulière et donner accès à la navigation ».

« γ) Dégager et protéger les navires et bateaux pendant l'embâcle et la débâcle ».

M. Dibos analyse les méthodes et procédés d'opérations diverses de déglaçages, tant par les moyens mécaniques, qu'à bras d'hommes.

Faisant état de ses propres travaux déjà longs (1883 à 1908) d'interventions hibernales pour la mise hors péril de navires et bateaux, d'ouvrages d'art et de circonstance, etc., le conférencier fait la preuve, qu'à peu de frais, on obtient dans ce genre d'opérations, de très importantes préservations de bâtiments de tous tonnages et de riches cargaisons.

Se reportant à des déplacements en France, en Europe et en Amérique, M. Dibos indique quel choix il préconise pour les types de propulseurs flottants et de dispositifs propulsés convenables pour remplir l'office de brise-glaces. C'est ainsi qu'à la suite de différents séjours en Hollande, au cours de la période comprise entre les années 1894 à 1908, le conférencier considère que la charrue à glace est le véritable engin mécanique qu'il convient d'employer pour maintenir libres, surtout au début du gel, les voies de navigation intérieure et les estuaires maritimes.

M. Dibos ajoute qu'il s'est formé, à Paris, un Syndicat de Protection Hibernale des Voies de Navigation en France, et que, sur l'initiative de notre émiment et savant collègue, M. dé Bovet, il a été désigné en compagnie de M. Lavand, le distingué ingénieur de la Société Générale de Touage et de Remorquage, pour retourner en Hollande choisir le meilleur appareil de déglaçage. C'est encore la charrue à glace qui l'a emporté dans ce choix, et cela contre les bateaux écraseurs, qui ont l'inconvénient de ne pas débarrasser le chenal qu'ils créent derrière eux, puisque tous les glaçons brisés, passant sous la carène de ces bateaux, réapparaissent dans l'espace libre obtenu.

Il n'en est pas de même avec la charrue qui procède par soulèvement et rejet des glaçons, sur le champ de glace et des deux côtés du chenal frayé.

M. Dibos termine en décrivant les bateaux écraseurs « Murtaja » et « Elbe », et s'excuse, en raison de l'heure très avancée, de ne pouvoir clore sa communication par un aperçu sur l'emploi des explosifs tel qu'il le comprend.

M. le Président remercie M. Dibos de sa communication et regrette également de n'avoir pu lui donner la parole qu'un peu tard. La question qu'il a fort clairement traitée est excessivement intéressante, importante et peu connue de beaucoup de collègues. C'est presque une nouvelle branche de l'art de l'ingénieur, à la création de laquelle M. Dibos a apporté sa large part.

Il est donné lecture des demandes d'admission en première présentation, de MM. J. Boeswillwald, A. Brossier, G. Goüin et Ventou-Duclaux, comme membres sociétaires titulaires et de

M. E. Prigent comme membre associé.

MM. E. André, G. Arnaud, J. Bouygues, W. Brandes, E. Charalansby, G. Couade, H. Jarnier, L. Ganet, W. Kopp, G. Lambert, A. Singrün, J. Singrün, S. Corcotsaki, Ch. Yaher sont admis comme membres sociétaires titulaires et

M. P. Dibos, comme membre sociétaire assistant.

La séance est levée à onze heures quarante-cinq.

L'un des Secrétaires techniques,
P. Bouzanquet.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1908

Présidence de M. E. Reumaux, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

G.-M.-L. Loiselle, membre de la Société depuis 1906, entrepreneur de peintures spéciales, chimiste diplômé ;

A. Urban, membre de la Société depuis 1896, ancien élève de l'École des Mines, des Arts et Manufactures de Liège, chevalier de la Légion d'honneur, administrateur-délégué et président du Conseil d'administration de la Société des Carrières de Quenast, Président du Conseil d'administration de la Société des Charbonnages du Nord du Flénu et de la Société de Niel-on-Rupoll (ciments Portland) ;

E.-A. Ménétret, membre de la Société depuis 1902, a été attaché à la Société Russe des Mines du Karadagh, à Tauris (Perse). Ingénieur-Entrepreneur ;

J.-S.-M.-A. Debar, ancien élève de l'École Centrale (1859), membre de la Société depuis 1878. A été Directeur de la Société des Ateliers de Fécamp, Ingénieur-Civil ;

Enfin, M. A. de Bovet, ancien élève de l'École Polytechnique (1873) et de l'École des Mines (1876), membre de la Société depuis 1885. M. de Bovet, bien connu pour sa compétence dans les questions de navigation maritime et fluviale, était membre de notre Comité depuis 1906 et il fut lauréat, en 1896, du prix Couvreux. Il était Administrateur-Délégué de la Société de Touage et de Remorquage, membre du Comité consultatif

de la Navigation et des Ports et de la Commission Internationale permanente des Congrès de Navigation.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société tout entière.

M. le Président a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

Ont été nommés :

Officier de la Légion d'honneur : M. Louis Rey, ancien membre du Comité et Vice-Président de la Société en 1895-96-97-98 ;

Chevaliers de la Légion d'honneur : M. J. Hersent, Président de la Première Section du Comité, et MM. L.-J.-B. Aurientis, E. Decout-Lacour, J.-A. Thirion, E. Guillet de la Brosse, R. Lesfargues ;

Chevalier de l'Ordre de Léopold : M. H.-E. Bertrand.

M. H. Faucher a reçu une médaille d'argent pour services rendus au ravitaillement de l'armée.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président fait connaître qu'à la date du 19 courant, M. M. Dibos a déposé un pli cacheté, qui a été, suivant les traditions, enregistré sous le n° 55.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains bulletins.

M. le Président fait connaître qu'une visite au Conservatoire des Arts et Métiers aura lieu le jeudi 26 novembre courant, à 10 h. 1/2, sous la direction de M. Magne. M. le Président engage vivement les Membres de la Société à assister à cette visite, qui ne manquera pas d'être des plus intéressantes. On se réunira dans la grande salle du Conservatoire pour, de là, visiter les galeries de l'Art appliqué à l'Industrie.

M. le Président rappelle à nouveau qu'un concours pour la fabrication rationnelle des éléments de conduits de fumée est ouvert et que l'importance de ce concours n'échappera pas à ceux des Membres de la Société dont les entreprises se rapportent à la fabrication de briques, chaux, ciments, etc.

M. le Président, avant de donner la parole à M. Borne, signale qu'en raison de l'intérêt d'actualité de la question des moteurs Diesel appliqués à la navigation, le Bureau a décidé d'inscrire M. Bochet pour la présenter à cette séance.

L'ordre du jour de la séance sera peut-être un peu chargé, mais les communications qui vont être faites sont toutes des plus intéressantes.

Toutefois, M. le Président signale qu'aucune discussion ou observation ne pourra être faite aujourd'hui à la suite des différentes communications qui seront présentées, le temps étant limité.

La question de l'épuration et de la stérilisation des eaux pourra être ultérieurement reprise vers les mois de février ou mars, après une conférence sur un sujet analogue qui doit être faite à cette époque par notre Collègue, M. Marboutin.

M. L. Borne a la parole pour sa communication sur un *Nouveau procédé de clarification et de stérilisation des eaux par l'Ozone.*

M. Borne expose que la ville de Chartres a réussi à avoir par jour 6000 m³ d'une eau très claire et irréprochable au point de vue bactériologique, en dépensant seulement 350 000 f pour modifier son installation existante. Ce résultat est obtenu par le traitement à l'ozone qui détruit complètement les nombreuses bactéries et particulièrement les bactéries pathogènes qui se trouvent dans les eaux de l'Eure.

L'usine d'ozone est actionnée par deux groupes de machines à vapeur dont un de rechange; les eaux sont élevées par une pompe centrifuge à l'usine de clarification ; chaque moteur a une force de 40 ch ; il actionne en même temps un alternateur.

L'ozoneur est enfermé dans une caisse en verre étanche à l'air ; il reçoit le courant de l'alternateur (500 périodes, 15 000 volts) sur des électrodes métalliques creuses rafraîchies par un courant d'eau et séparées par des glaces. L'effluve qui jaillit entre les électrodes produit l'ozone. Un ventilateur envoie de l'air desséché et refroidi dans la caisse en verre de l'ozoneur. L'air chargé d'ozone est alors conduit dans une colonne de Gay-Lussac, qui reçoit à sa partie supérieure l'eau à traiter.

Cette colonne est formée de deux compartiments de 1,50 m $\times$ 7 m remplis de silex concassé sur une hauteur de 4,50 m.

Pour stériliser 1 m³ d'eau, on emploie 370 l d'air à 5-6 mg d'ozone par litre ; cela fait un peu plus de 2 g d'ozone par mètre cube d'eau traité. Ce chiffre correspond à la nature des eaux de Chartres, qui contiennent 3 mg de matières organiques par litre : la dépense en ozone varie avec la teneur en matières organiques.

L'usine de clarification comprend dix bassins de 6 m $\times$ 7 m emplis de sable sur une épaisseur de 1 m et munis à la partie inférieure d'une grille en fer percée de trous, qui sert à recueillir l'eau clarifiée ; elle sert aussi, comme nous le verrons tout à l'heure, au nettoyage mécanique. L'eau traverse les clarificateurs, avec une vitesse de 15 à 20 m³ par mètre carré et par jour.

Chaque clarificateur est précédé de deux dégrossisseurs biologiques remplis de coke et travaillant alternativement. Ces dégrossisseurs constituent la partie la plus intéressante des filtres de Chartres, parce qu'ils exercent une action oxydante sur l'eau traitée et retiennent 80 °/₀ des colonies bactériennes.

Pour faire le lavage mécanique des clarificateurs, on ferme le robinet qui fait communiquer la grille avec le départ d'eau filtrée et on envoie au centre de cette grille, au moyen d'un mélangeur, un courant d'air comprimé et, en même temps, un courant d'eau pure sous pression. Le nettoyage dure une demi-heure et se fait au plus une fois par jour, même si l'eau est très limoneuse. Pour nettoyer un clarificateur donnant 600 m³ d'eau par jour, on dépense au maximum 15 m³ d'eau, dont un tiers d'eau stérilisée et 150 m³ d'air.

Les manœuvres de nettoyage se font très facilement de la passerelle centrale où sont réunis tous les robinets de commande.

M. A. Desgorces explique le plan de l'usine et montre les photographies représentant les divers appareils.

M. Borne reprend la parole pour expliquer les caractéristiques des clarificateurs de Chartres et pour examiner les applications qu'ils peuvent avoir.

L'usine de clarification, avec ses canalisations et appareils de nettoyage revient à 90 000 f et le bâtiment qui couvre l'usine, à 60 000 f; la dépense de premier établissement est donc de 25 f par mètre cube d'eau traitée par jour (6 000 × 25 = 150 000).

L'ozone a coûté 110 000 f avec sa colonne de stérilisation,

En ajoutant à ces chiffres les achats de terrain, la construction de l'usine électrique, la canalisation réunissant les deux usines, on arrive à une dépense de 350 000 f, soit 58 f par mètre cube d'eau traitée, compris la clarification et l'ozonisation, pour une usine donnant 6 000 m^3 par jour. Si on déduit le prix du terrain, le prix s'abaisse à 50 f par mètre cube.

Une installation beaucoup plus considérable, donnant 20 000 m^3 par jour, et faite récemment par la ville de Paris, à Ivry, a coûté 1 650 000 f, non compris les terrains, soit 80 f par mètre cube d'eau traitée par jour. L'eau est filtrée dans cette usine avec une vitesse de $2^{m^3}400$ par mètre carré de surface filtrante et par jour. La Ville de Paris a cru devoir adopter cette vitesse comme étant celle qui donne le plus de garantie.

Les depenses de premier établissement sont donc plus élevées pour les installations de filtration faites avec tous les perfectionnements modernes; par contre, le prix d'exploitation est un peu plus cher pour l'eau ozonée.

En comptant l'intérêt du capital à 5 % et l'amortissement en quarante ans, avec de l'eau ne contenant pas plus de 1 mg de matières organiques par litre, le prix de revient oscille en moyenne entre 0,025 f et 0,013 f par mètre cube pour l'eau stérilisée par l'ozone, suivant que cette eau a besoin, ou non, d'être clarifiée.

D'autre part, le prix de revient de l'eau filtrée, c'est-à-dire toujours clarifiée, mais jamais stérilisée, oscille entre 0,010 f et 0,015 f par mètre cube.

L'eau qui est simplement filtrée, contient à Ivry 375 bactéries par centimètre cube, y compris de nombreuses bactéries comme le bacillum coli qui peuvent propager le choléra ou la fièvre typhoïde.

Les villes ont donc l'obligation de donner de l'eau complètement stérilisée et cela, dans l'intérêt de la santé de leurs habitants; la ville de Paris ne songe pas à se soustraire à cette obligation : elle va stériliser ses eaux de rivière et, peut-être même, une partie de ses eaux de sources; car certaines de ces eaux, et notamment celles de la Vanne, sont tout à fait suspectes.

M. Borne termine en constatant que cette discussion sur les appareils de stérilisation et sur les prix de revient est tout à fait du domaine de l'Ingénieur. Il souhaite que ses collègues apportent de nouveaux renseignements sur cette question, qui présente un intérêt particulier par les conséquences qu'elle peut avoir sur l'hygiène et la santé publiques.

M. le Président remercie MM. Borne et Desgorces d'avoir si nettement mis en relief, dans leur intéressante communication, les progrès réalisés par l'emploi de l'ozone. Ils sont d'ordre pratique autant qu'économique et l'hygiène des grandes agglomérations peut en attendre les services les plus éminents.

M. le Président Reumaux étant obligé de se retirer, M. le Vice-Président E. Barbet le remplace au fauteuil.

Présidence de M. E. Barbet.

M. B. Bezault a la parole pour une communication sur *l'Épuration des eaux d'égouts par le procédé biologique intensif; sa comparaison avec l'épandage.*

M. Bezault, après avoir exposé, en quelques mots, l'historique des procédés d'épuration des eaux d'égouts employés jusqu'à nos jours, s'étend plus longuement sur le procédé biologique intensif. Il donne une description schématique des dispositifs utilisés et quelques détails sur les diverses actions biologiques mises en œuvre. Tout en regrettant que les applications de ce procédé soient encore bien rares en France, M. Bezault en cite quelques-unes dont certaines sont en service depuis plusieurs années.

Le but principal de la communication étant la comparaison des résultats obtenus par le système de l'épandage avec ceux donnés par l'épuration biologique intensive, M. Bezault rappelle les chiffres donnés à cet égard par M. Vincey, dans la séance de juin 1907. A l'aide de ces chiffres provenant d'analyses, interprétées inexactement, à son avis, il réfute certaines objections de la communication précédente.

Ce n'est pas tant la quantité de matières organiques qu'il s'agit de connaître pour évaluer le coefficient de contamination d'un effluent quelconque, mais bien la nature de ces matières.

Il en est de même pour les bactéries, la qualité importe plus que la quantité.

En outre, M. Bezault déclare que le chiffre donné par M. Vincey pour les eaux d'égout rejetées en Seine par la Ville de Paris, sans aucune épuration, est bien au-dessous de la vérité; ce n'est pas 100 000, mais plus de 200 000 m³ qui sont rejetés journellement. Aux époques pluvieuses et de basse température, le chiffre est encore plus élevé, ainsi qu'au moment des hautes eaux où la Seine remonte dans les égouts. C'est donc bien pour des raisons inhérentes au système qu'une grande quantité d'eau d'égout ne subit aucune épuration.

Le remède conseillé par M. Vincey pour éviter les contaminations actuelles, étant basé sur le chiffre de 100 000 m³, ne serait guère efficace, d'autant plus que sa mise en pratique ne pourrait se faire que dans des conditions très aléatoires.

La séparation complète des eaux d'égouts de la Ville de Paris et de celles du département de la Seine est, pour ainsi dire, impossible ; en supposant même qu'on y arrive au prix de travaux considérables, cela ne solutionnerait pas la question de l'assainissement de la Seine,

Le département, à qui la Ville a pris certaines artères, n'admettrait

pas facilement les charges qu'on voudrait lui imposer. La vérité est qu'on doit, dès maintenant, envisager l'épuration de la totalité des eaux d'égout du département de la Seine, y compris la Ville de Paris, sans faire de distinctions. Le volume total de ces eaux atteindra très prochainement 1 million de mètres cubes ; pour les épurer par épandage à la dose légale de Paris, qui est de 11 l par mètre carré, il faudrait environ 10 000 ha de terrains. A la dose de 5 l admise en Angleterre et en Allemagne, il faudrait, comme on le voit, plus du double.

La Ville de Paris dispose actuellement de 4 700 ha environ, sur lesquels 1 550 seulement lui appartiennent, le complément pouvant lui échapper d'un jour à l'autre. A moins de dépenser en collecteurs, travaux d'art, stations de relèvements, etc., une somme énorme de beaucoup supérieure au coût d'une installation d'épuration artificiellement conduite, jamais la Ville ne pourra trouver, dans le bassin de la Seine, la surface de terrains nécessaires à l'épuration de 1 million de mètres cubes d'eau.

Quant aux souillures de la Seine par les eaux du département de Seine-et-Oise, elles ne représentent qu'une proportion insignifiante.

A côté des résultats de l'épandage, M. Bezault a montré ceux obtenus dans de nombreuses installations d'épuration par la méthode biologique intensive, notamment en Angleterre, aux États-Unis, en Allemagne.

Pour démontrer l'efficacité réelle du rôle de la fosse septique, M. Bezault a rappelé certains faits et les dires de différents savants. Il a cité quelques extraits du cinquième Rapport de la Commission Royale du « Sewage », en Angleterre, dans lequel il est déclaré entre autres qu'il n'y a pas de différence essentielle entre les effluents provenant de l'épandage et ceux de la méthode bactérienne artificielle.

Enfin, M. Bezault ayant fait passer quelques projections d'installation d'épuration biologique à laquelle vont ses préférences, a terminé en résumant les avantages et les inconvénients de chacun des procédés, particulièrement en ce qui concerne le cas de la Ville de Paris.

M. le Président, en remerciant M. Bezault, souligne la solution élégante et moderne apportée par l'emploi des fosses septiques au problème difficile du traitement des eaux résiduaires de toutes sortes. Il ajoute que M. Marboutin devant parler sur ce sujet en février 1909, une discussion sera ouverte à cette date, et que peut-être M. Vincey, actuellement souffrant, se réserve d'y prendre part.

Sur la demande qui lui en a été faite, M. le Président donne la parole à M. Abraham, l'un des premiers pionniers de la question de l'ozone, qui demande à préciser quelques points particuliers.

M. Henri Abraham signale d'abord que si l'ozone ne communique aucune odeur à l'eau stérilisée, c'est que, par suite de son instabilité, il disparait spontanément.

M. Abraham relève ensuite une erreur matérielle qui s'est glissée dans la rédaction des rapports officiels publiés à la suite du concours de la Ville de Paris, où ont été comparés, notamment, la tour de Gay-Lussac et des appareils barboteurs pour la mise en contact de l'air ozoné avec l'eau à stériliser.

Dans la tour de Gay-Lussac, la partie la plus importante de la puissance dépensée correspond au relèvement de l'eau à 5 m de hauteur; soit, en tenant compte du rendement des pompes, à 18 kilowatts-heures par 1 000 m³ d'eau traitée. En y ajoutant environ 1 kilowatt-heure pour le ventilateur qui déplace l'air ozoné, on arrive à une dépense totale de 19 kilowatts-heure par 1 000 m³ d'eau.

Pour les appareils barboteurs, la rédaction du rapport de M. Colmet-Daage pourrait laisser croire que la seule puissance dépensée correspond au relèvement de l'eau à une hauteur de 2 m, soit 7 kilowatts-heure par 1 000 m³ d'eau. (Rapport, p. 95.)

M. Abraham fait remarquer que ce n'est là qu'une *petite partie* de la dépense. Il ne faudrait pas oublier, en effet, de tenir compte de la puissance nécessaire pour refouler l'air ozoné au bas des barboteurs. Dans les expériences de la Ville de Paris, ce refoulement se faisait sous une surpression de trois quarts d'atmosphère. La dépense, calculée en admettant pour le compresseur d'air un rendement de 50 0/0, est de 32 kilowatts-heure, ce qui donne un total de 39 kilowatts-heure par 1 000 m³ d'eau.

La puissance dépensée pour l'utilisation des appareils barboteurs est donc, en réalité, *plus du double* de celle que nécessite la stérilisation par la colonne de Gay-Lussac.

M. le Président remercie M. Abraham de son observation très utile, car c'est un fait connu que la compression de l'air à une faible pression est une opération difficile et d'un rendement médiocre.

M. A. Bochet a la parole pour une communication sur *les Applications du moteur Diesel à la navigation.*

M. Bochet rappelle que le moteur Diesel a été l'objet d'un intéressant mémoire de notre Collègue M. Mallet, publié dans le Bulletin de la Société en 1897.

En avril 1906, M. Bochet a présenté une comparaison entre ce système et les divers moteurs à explosions en recourant à l'épure entropique.

Sous sa forme courante, le moteur Diesel est une machine verticale à simple effet et à quatre temps.

Au premier temps, le piston descendant aspire par la soupape d'admission de l'air pur.

En remontant, durant le second temps, le piston comprime cet air jusqu'à la pression de 30 kg par centimètre carré, ce qui le porte au-dessus de la température d'inflammation du combustible.

Dès le début du troisième temps, ce combustible est injecté par l'ajutage central dans l'air ainsi échauffé et brûle au fur et à mesure de son introduction pendant une partie de la course du piston, puis après cette combustion graduelle, les gaz continuent à se détendre jusqu'à la fin de cette course motrice.

Enfin, au quatrième temps, les gaz de la combustion sont rejetés par la soupape d'échappement sous l'action du piston qui remonte.

Le liquide combustible, refoulé par une pompe, est pulvérisé par de l'air comprimé qui pénètre en même temps que lui, dès que l'aiguille

qui ferme l'ajutage central est soulevée par le mécanisme de distribution.

Cet air, servant à l'insufflation, est comprimé à une pression supérieure à celle qui se produit dans le cylindre moteur, au moyen d'un compresseur actionné par la machine.

Le compresseur charge en même temps des réservoirs qui servent au lancement du moteur, ainsi qu'au renversement du sens de marche.

Le point à la fois le plus important et le plus délicat de la marche de ce genre de moteur est le réglage de la combustion qui doit s'effectuer très correctement en un temps très court.

M. Diesel a préconisé l'adoption d'une combustion isothermique. Mais il a aussi fort bien montré pourquoi il fallait, en pratique, s'écarter de cette règle. Ne pouvant pousser assez loin la compression pour obtenir une surface suffisante du diagramme, correspondant à une bonne utilisation spécifique de la machine, il fallut, dit l'inventeur, jeter un pont entre la compression actuellement réalisable et la compression isothermique correspondant à une compression beaucoup plus élevée.

Cette nécessité, rappelée par M. Diesel dans son rapport au Congrès international de Mécanique appliquée de 1900, subsiste toujours. C'est en adoptant cette solution qu'il a été possible de régler la combustion dans les moteurs Diesel, de manière à atteindre des ordonnées moyennes de 9 kg sans dépasser des pressions de 35 kg.

Pour réaliser pratiquement ce régime, il faut régler l'ouverture graduelle de l'aiguille d'injection suivant des lois qu'une expérimentation minutieuse a permis de fixer pour chaque cas.

La pression maximum surpasse de quelques kilogrammes la compression de l'air et la courbe de combustion s'arrondit vers le haut, ce qui correspond à une surélévation très notable de la température pendant la combustion et non plus à une courbe isotherme.

Le principe du moteur Diesel permet, de toute évidence, de réaliser dans d'excellentes conditions des admissions variables.

C'est aussi uniquement en réglant pour chaque combustion la quantité du combustible injecté que la puissance du moteur est réglée.

Cette facilité du réglage de l'admission permet de régler avec la plus grande précision l'allure de la machine, soit à la main, soit au moyen d'un régulateur.

Les combustions se faisant toujours régulièrement, la marche est d'une remarquable douceur à tous les régimes.

Les résultats pratiques obtenus en 1897 étaient absolument remarquables et plaçaient le moteur Diesel bien au-dessus de toutes les machines thermiques connues, au point de vue du rendement. En effet, un moteur de 20 ch a fourni, à cette époque, le cheval-heure avec une consommation de 240 g de pétrole en pleine charge et 277 g à demi-charge, ce qui correspond à un rendement thermique de 25 0/0 à pleine charge et de 22 0/0 à demi-charge.

Les droits prohibitifs qui frappent en France les combustibles utilisables dans le moteur Diesel ont empêché le développement de ce système dans notre pays, alors que l'étranger a largement bénéficié du progrès considérable réalisé par ce système. Pour en donner une idée, M. Bochet

signale que la Maschinenfabrik, d'Augsbourg, où les premiers essais ont été exécutés, a construit, en dix ans, 1 400 moteurs représentant une puissance effective de 125 000 ch. Les meilleurs ateliers de construction mécanique en Russie, en Autriche, en Suisse, en Belgique, en Suède, se sont adonnés à ce genre de construction avec le plus grand succès.

Le moteur Diesel est, par suite, bien connu. Il a fait ses preuves dans le domaine industriel, mais son application à la navigation a nécessité de grands efforts et a donné des résultats qui méritent de retenir l'attention de la Société.

Dès les débuts du système Diesel, M. Bochet a été frappé des avantages qu'il offrait pour la navigation. Sa faible consommation, sa marche automatique et sans fumée, sa remarquable sécurité de fonctionnement présentaient un intérêt énorme à bord des bâtiments de tous les tonnages, aussi bien pour les machines motrices que pour les auxiliaires.

Les premiers efforts ont été dirigés sur l'adaptation du moteur Diesel au service des sous-marins. M. l'Ingénieur en chef Maugas, partageant la confiance de M. Bochet dans le système, n'hésita pas à employer cette machine sur ses sous-marins.

Cette détermination valut à ces bâtiments les plus grands succès.

M. Bochet rapelle le raid sensationnel effectué entre Cherbourg et Groix et retour, soit 550 milles pour un premier bateau et celui de 780 milles parcouru également d'une traite de Cherbourg à Brest et retour à Cherbourg par Dunkerque, sans aucune escale, ni ravitaillement.

M. Bochet attribue une large part de ces succès à M. l'Ingénieur de la Marine Radiguer qui a dirigé la construction de ces bateaux et à leurs commandants, MM. les lieutenants de vaisseau Daguerre, Glorieux, Lecoq et Nivet.

Aujourd'hui, le moteur Diesel est adopté pour tous les types de bâtiments sous-marins. Un grand nombre de submersibles du modèle créé par M. l'Ingénieur en chef Laubeuf, comportent ce système de machines.

M. Bochet donne le tableau suivant résumant les essais officiels exécutés en usine sur une douzaine de machines de 300 chx :

	Prévisions.	Résultats obtenus.
Maximum de puissance en chevaux effectifs sur l'arbre	300 ch à 340 t par minute.	450 ch à 340 t
Consommations de pétrole ordinaire par cheval effectif sur l'arbre et par heure aux puissances de :		
395 ch à 340 tours par minute .		151 g
300 ch à 340 tours par minute .	250 g	180 g
75 ch à 170 tours par minute .	325 g	195 g
Rendements thermiques à :		
395 ch		42 0/0
300 ch		35,5 0/0
75 ch		32,5 0/0

Ces résultats sont vraiment extraordinaires, si on songe que les meilleures machines à vapeur à triple expansion, ne dépassent pas 13 0/0 comme rendement thermique.

Il est fort important d'ajouter que la consommation si remarquablement réduite réalisée en usine s'est retrouvée, non seulement au cours des épreuves de recette à la mer, mais encore en service courant.

C'est, en effet, une très grande qualité du moteur Diesel, par rapport à la machine à vapeur, d'écarter toute influence du mode de conduite sur les résultats du fonctionnement. L'alimentation et le réglage de la machine étant tout à fait automatiques, le personnel n'a aucune influence du genre de celle de la conduite de la chauffe pour les moteurs à vapeur.

Les résultats obtenus font grand honneur aux ateliers Sautter Harlé et Cie, où ces premières machines ont été étudiées et où les six premières ont été exécutées.

M. Bochet cite tout particulièrement, pour ces travaux, le rôle de son principal collaborateur, M. Ducher, Ingénieur de cette Société.

La Société française des moteurs Diesel a construit six machines identiques, sous l'habile direction de notre collègue M. Dyckhoff.

Les Ateliers et chantiers de la Loire et les Chantiers et Ateliers Augustin Normand ont également entrepris la construction de ce genre de moteurs.

Alors que les machines industrielles construites jusqu'ici atteignaient des poids de plus de 200 kg par cheval, les machines construites pour les applications à la Marine, toutes complètes, pèsent 40 kg pour les modèles largement établis. Ce poids a été réduit à 20 kg par cheval effectif sur l'arbre pour des moteurs plus poussés, dont le fonctionnement a été des plus satisfaisants.

Des projets très sûrs prévoient le poids de 16 kg seulement par cheval.

Le total des machines de ce système livrées actuellement à la Marine française où en exécution pour elle, s'élève à 40, représentant une puissance de 14 300 ch.

Les applications du moteur Diesel à la Marine prennent à l'heure actuelle une extension considérable, car il s'agit de les adapter aux bâtiments des plus forts tonnages. Il faut donc produire à bord de ces bâtiments les puissances de 20 000 et 30 000 ch nécessaires à leur service.

Dès maintenant, les Ateliers et Chantiers de la Loire se sont résolument lancés dans l'étude pratique de cette importante question et cette Société entreprend la construction d'une machine d'essai.

Il est donc fort probable que d'ici peu les résultats acquis seront dépassés dans les plus larges proportions.

M. Bochet termine en projetant au tableau les photographies des divers types de moteurs Diesel construits jusqu'ici.

M. le Président remercie très vivement M. Bochet de son intéressante communication. Le moteur Diesel a été pour beaucoup de membres de la Société une révélation, et M. Bochet l'a décrit avec une clarté de parole et netteté d'explications dont on doit le féliciter.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. J. Aguillon, A. Bouroz, J. Boutaric, M. Dardenne, L. Hodgson, A. Jacquot, H. La Burthe, T.-M. J. Havard-Duclos, S. Doise, A. Lely comme Membres Sociétaires titulaires ; de

M. A. Bilard, comme Membre Assistant et de

M. A. Terrail, comme Membre Associé.

MM. J. W. A. Boeswillwald, A. Brossier, G. Gouin, L.-P. Ventou-Duclaux comme Membres Sociétaires Titulaires et

M. E.-T. M. Prigent comme Membre Associé.

La séance est levée à 11 heures 45 m.

L'un des Secrétaires techniques,
P. Bouzanquet.

LE
CONGRÈS DE LA ROUTE

COMPTE-RENDU

PAR

M. A. LOREAU

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
MES CHERS COLLÈGUES,

Vous m'avez fait le grand honneur de me désigner comme votre délégué au Congrès de la Route.

Je vous dois de doubles remerciements parce que, d'une part, Conseiller général du Loiret, j'ai à chaque session, depuis plus de vingt-cinq années, discuté cette grosse question des routes auxquelles nous consacrons la moitié des ressources de notre budget, et, d'autre part, comme Président de la Commission technique de l'A. C. F., j'ai, avec une passion réelle, étudié tout ce qui se rattache au développement de l'Automobile.

Le Congrès semble avoir été ouvert, en raison même d'une apparente incompatibilité d'humeur entre l'Automobile et la route. Ses travaux ne pouvaient donc me laisser indifférent.

Je ne pourrais, ce soir (vos instants sont comptés), vous faire un compte rendu du Congrès, car les rapports déposés et discutés forment, à eux seuls, les trois gros volumes que je dépose ici pour votre bibliothèque; nous ne jetterons donc sur cette importante réunion qu'un regard d'ensemble.

« Importante » est un terme pleinement justifié :

27 Gouvernements (la presque totalité du monde civilisé);

56 Départements de France;

193 villes, 184 Associations s'étaient fait représenter.

Notre distingué Président, M. Reumaux, était membre du Bureau d'honneur qui présidait aux travaux des 2251 adhérents.

Le nombre des rapports dépassait cent.

La France en avait fourni 38 et la Grande-Bretagne 19.

(Le pays d'origine de Mac-Adam ne pouvait se désintéresser de la question « Route ».)

Les autres se partageaient entre l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, les États-Unis, l'Italie, le Portugal et la Suisse.

Ces rapports avaient été répartis entre huit sections.

Les huit rapporteurs généraux formaient un brillant groupement; c'étaient :

1re Section. *La Route Actuelle.* — M. Renardier, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, à Orléans.

2e Section. *L'entretien de la Route.* — M. Michaux, Agent voyer chef honoraire.

3e Section. *La Poussière.* — Le Docteur Guglielminetti, le fondateur et l'ardent Président de la Ligue contre la poussière.

4e Section. *La Route Future.* — M. le Député Guillain, l'ancien Ministre, le Directeur honoraire des routes.

5e Section. *Les effets des Véhicules sur la Route.* — M. Walckenaer, l'érudit Ingénieur en chef des Mines.

6e Section. *Les effets de la Route sur les Véhicules.* — M. Lumet, Ingénieur de l'École Centrale, Ingénieur de la Commission technique de l'A. C. F. l'un de vos secrétaires toujours allègrement à la hauteur des tâches multiples qui lui sont confiées.

7e Section. *Les Signaux de la Route.* — M. Chaix, le Président de la Commission de Tourisme, justement réputé comme l'homme ayant le plus — et le mieux — parcouru le monde en automobile.

8e Section. *Les Services de Transport.* — M. Limasset, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Laon.

J'ai groupé pour vous — vous les pourrez lire — les textes précis des conclusions votées pour chacune des sections.

Je dois me restreindre à quelques points semblant avoir plus spécialement appelé l'attention générale.

Le premier paragraphe voté fut le suivant :

« Le Congrès appelle l'attention des constructeurs sur la résistance, les soins, le mode d'exécution et la fondation des chaussées, cette partie de la route influant considérablement sur l'usure et la conservation du profil de la chaussée. »

A ce sujet, je dois vous rappeler un intéressant incident.

Lors de la séance solennelle d'ouverture du Congrès, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, pour répondre aux éloquents discours de M. le Ministre des Travaux Publics (M. le député Barthou) et de M. le Président du Congrès (M. l'Inspecteur général Lethier) il avait été convenu qu'il serait prononcé deux discours dans chacune des langues officiellement admises au Congrès : allemand, anglais et français, mais MM. les délégués étrangers avaient aimablement tenu à honneur de prononcer leurs discours en Français, ne réservant que quelques phrases à leur langue maternelle.

L'un d'eux, premier délégué des États-Unis, terminait ainsi son discours :

« Un vieux proverbe dit : « L'on reconnaît la civilisation d'un pays à ses routes » ; ceci est certainement vrai de la France, puis :

« Il est particulièrement heureux que notre première réunion soit dans la patrie de notre maître à tous, l'auteur du premier traité moderne sur la construction et l'entretien des routes ».

« Je veux dire et vous l'avez pressenti... »

Là, l'orateur s'arrête un instant, les auditeurs se jettent quelques regards interrogateurs, on entend murmurer : « Mais Mac-Adam n'était pas Français »... puis l'orateur reprend :

« Vous l'avez tous pressenti, c'était Trésaguet ».

Il faut avouer qu'alors, quoique en France, le souvenir du nom français glorieusement cité ne parut pas avoir été généralement conservé, et que ce fut plutôt un sentiment de surprise qui se trahit dans l'assistance.

Il n'en est certes pas de même ici, Messieurs ; vous savez tous que l'Ingénieur Trésaguet (1) fut placé à la tête de la généralité de Limoges; il associa ses efforts à ceux de l'Intendant Turgot et créa dans le Limousin des routes admirables. Il substitua au travail grossier de la corvée, qui consistait à jeter deux fois par an des pierres à demi brutes dans la poussière ou dans la boue des flaches et des ornières, le travail continu d'ouvriers chargés d'une longueur de route déterminée, appelée canton.

Dans le mémoire publié par lui en 1775, sur la Construction et l'entretien des chaussées, Trésaguet indique la nécessité absolue d'une fondation.

(1) Voir *Aperçus historiques sur les voies de terre*, par Pons.

Il en précise ainsi les conditions d'établissement :

Le fond présentera la même courbure transversale que la surface de la chaussée et recevra une première couche de pierres posées de champ, affermies et battues à la masse, mais sans s'assujettir à ce que les unes ne dépassent pas les autres. Le surplus de la pierre sera également arrangé à la main, battu et cassé grossièrement à la masse. Enfin la couche supérieure, de 3 pouces (0,08 m) d'épaisseur, sera composée des pierres les plus dures cassées de la grosseur d'une noix.

Tel n'était point le procédé recommandé par Mac-Adam, simple inspecteur des routes dans la circonscription de Bristol, qui rédige en 1819 une instruction traduite en France en 1820, indiquant la suppression de toute fondation et le simple emploi d'une couche unique de matériaux de 0,25 m d'épaisseur, que le sol soit de rochers ou de marécages, à condition que les matériaux seront très durs, d'un cassage uniforme et d'un poids régulier de 6 onces.

« Une route doit être envisagée comme un parquet artificiel, » étendu sur le sol naturellement moite et mou que nous habi- » tons. »

Ces idées, très contestées, reçurent néanmoins de nombreuses applications, mais il est curieux de relever dans les rapports du Congrès l'opinion actuelle des compatriotes mêmes de Mac-Adam.

Dans le rapport n° 4, par M. F.-G. Carpenter, Surveyor de la division ouest du comté d'York :

« La fondation d'une route est de la première importance. »

Dans le rapport n° 6, par MM. R. Drummond et Allan Stevenson, Président et Secrétaire de l'Association des Ingénieurs routiers d'Écosse, même indication, puis détails précis d'exécution : une couche inférieure de pierres sur 7 pouces d'épaisseur, soigneusement placées à la main, l'extrémité la plus large en bas, parfaitement liées et jointes, aucune pierre n'ayant plus de 3 pouces au sommet.

Et enfin rapport de M. Robert Philipps, Surveyor-conseil du comté de Gloucester :

« Edgeworth, Leahy et Mac-Adam eurent à construire des routes » en pierres cassées, sans fondation pavée ; ce dernier, à cause » de continuelles réclames en sa faveur, fut considéré comme » l'inventeur du procédé. »

Puis le rapporteur conclut : Cela pouvait suffire à la circula-

tion lente de voitures à larges roues; il n'en est plus de même avec la circulation de nos jours.

Tel fut l'avis unanime de la première section, qui fit approuver par l'Assemblée générale le retour aux principes de Trésaguet.

Quels seront, sur une bonne route ainsi solidement assise, les effets de la circulation automobile?

De tous les points du monde arrivera cette unanime impression : avant tout une poussière insupportable, nuisible, dangereuse même; qui nous en délivrera?

Le pavé et le goudron se montrent nos meilleurs collaborateurs dans cette lutte contre la poussière.

Soit le pavé classique du Grand Roi (mais pavé régularisé dans sa forme et réduit dans ses proportions), soit le pavé factice industriel, qui affirme joindre à la résistance une élasticité inconnue du grès ou du porphyre, et une porosité permettant au goudron de s'imprégner comme sur la route empierrée.

Ce goudron, le Journal du Congrès, rendant compte des réceptions organisées à Fontainebleau ou à Versailles, mais n'oubliant pas les études sérieuses faites au cours du voyage, nous dira quels résultats, grâce à lui, ont déjà pu être obtenus.

Nous lisons dans le n° 4, *Excursion Paris-Est* :

« La première halte a lieu avenue de la Tourelle. Cette ave-
» nue, qui est goudronnée annuellement depuis 1903, est en
» parfait état, malgré une circulation de 300 colliers et d'un
» grand nombre d'automobiles. Certains dimanches, on a pu
» constater le passage de 1 500 automobiles. »

Il avait été, dès 1906, au premier Congrès de Tourisme que présidait votre rapporteur d'aujourd'hui, parlé de cet intéressant terrain d'expériences.

Avant le goudronnage, l'avenue devait être rechargée tous les trois ans, elle en est à sa sixième année d'existence!

Le distingué Secrétaire général du Congrès actuel, M. Heude, alors Ingénieur en chef de Seine-et-Marne et depuis quelques jours Inspecteur général, disait alors :

» Je répète que, grâce au goudronnage, et c'est la première fois
» que je m'avance à ce point, l'économie réalisée par an et par
» mètre carré est de 0,05 f. »

L'expérience a justifié, dépassé, les prévisions de M. Heude, et nos routes futures verront, bien nombreuses au long des maisons

agglomérées, ces portions goudronnées sur lesquelles, dès que l'auto parvient, elle se détache de la queue des poussières soulevées par elle.

Quant aux conditions de contact intime des roues et de la route, M. le Professeur A. Petot, de la Faculté des Sciences de Lille, les analyse d'une façon technique et précise (Rapport n° 78) :

« Les routes sont tout naturellement disposées, quand elles » sont bien construites, pour résister aux efforts normaux. Sous » l'action de ces efforts, leurs matériaux se tassent et s'agrègent, » ce qui leur permet (la charge étant bien répartie) de résister » de concert à l'écrasement » (page 2). Puis, relativement aux efforts tangentiels :

» Quand la chaussée est bien unie, le dommage est minime, » parce que l'usure ne se produit que par frottement et limage, » mais dès qu'il se produit des aspérités dues à de petites pierres » émergeant un peu du sol, les forces tangentielles, qui alors » ont de la prise, les font basculer, les arrachent et les pro» jettent » (page 4). Et plus loin :

» Les chaussées bien unies reçoivent, des véhicules, le mini» mum de dommages, et causent à leurs organes le minimum » de fatigue, et nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire, pour » la conservation de la route, de limiter la vitesse des automo» biles plus qu'il ne faut pour assurer la sécurité des voya» geurs. »

De son côté, M. Lumet, paraphrasant fort élégamment le principe de l'action et de la réaction, faisait voter cette conclusion si rassurante au point de vue de l'inexistence de cette incompatibilité d'humeur prétendue :

» Lorsqu'on se trouve... du fait de la route, dans des condi» tions désavantageuses pour la voiture automobile, la route a » elle-même à souffrir de cet état de choses ; mais si l'on sup» prime dans la route ce qui tend à détruire les voitures. » celles-ci ne sauraient être elles-mêmes une cause d'usure » anormale de la route... »

Il est donc entendu que de bonnes routes et de bonnes voitures vivront en parfaite harmonie. Mais quel est, à l'heure actuelle. l'état du réseau de nos routes de France ? Ce réseau, qu'était-il avant, qu'est-il devenu depuis l'automobile ?

Le très remarquable rapport de M. Renardier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Orléans, nous donne à ce sujet les

renseignements les plus intéressants et les plus précis. (Rapport n° 19.)

Nous lisons, page 4 :

« Dans le tableau suivant sont indiquées les longueurs res- » pectives des diverses catégories de voies.

VOIES	LONGUEUR EN KILOMÈTRES
Routes nationales.	38 179
Routes départementales	14 564
Chemins de grande communication. .	172 070
Chemins d'intérêt commun	71 412
Chemins vicinaux ordinaires.	281 690
LONGUEUR TOTALE.	577 915

» Les quatre premiers groupes ont donné lieu à une dépense » de premier établissement de quatre milliards et demi, en » nombre rond. Si l'on y ajoute celle des chemins vicinaux ordi- » naires (environ 1 200 millions de francs), on obtient pour cet » immense réseau cinq milliards sept cent millions de francs.

» Il est intéressant de rapprocher la longueur totale des voies » ferrées exploitées par les six grandes Compagnies et l'État, » soit 38 382 km, de celle des routes nationales. On voit qu'il y » a sensiblement égalité. »

Les voies ferrées s'étaient, dans leur tracé, sensiblement rapprochées du tracé des routes nationales; ce sont surtout les routes nationales que les automobiles ont utilisées. Qu'en est-il advenu ?

(Page 19) : « Les dommages résultant du développement de » la circulation automobile sont-ils aussi accentués, et surtout » aussi généraux que l'on veut bien le dire ?

» Pour essayer de nous faire une opinion à ce sujet, nous » avons ouvert une enquête dans tous les départements de » France et nous nous sommes adressé en même temps aux » services des Ponts et Chaussées et aux services vicinaux. » Tous les départements se trouvent d'accord pour répondre que le plus grand inconvénient de la circulation automobile est la poussière soulevée au passage, qui se répand dans les propriétés riveraines, où elle peut causer certains dommages, et pour

signaler une plus rapide usure des chaussées empierrées, surtout dans les courbes de faible rayon.

Mais, dans trente-deux départements, on ajoute que l'on n'a eu, sur aucun point du réseau des routes et chemins, à constater de dégradations telles qu'elles peuvent être manifestement imputées à la circulation automobile; ou bien il s'agit de cas tout à fait particuliers correspondant à des camions automobiles desservant des usines et portant des charges de 5 000 kg (Doubs, Jura), ou à des services d'autobus (Puy-de-Dôme, Charente-Inférieure).

Il semble, en effet, qu'il soit nécessaire d'atteindre une circulation de quarante voitures automobiles par jour pour que l'on puisse attribuer à celles-ci une usure propre, et que l'on ne constate pas de dégradations spéciales importantes, tant que l'on reste au-dessous de quatre-vingts à cent passages par jour. Les sections de routes où l'on arrive à ces derniers chiffres sont assez limitées. Aussi ne signale-t-on de dégradations extraordinaires causées par la circulation automobile sur des longueurs importantes que dans les départements voisins de celui de la Seine, sur les routes reliant Paris à un grand centre, qui correspondent à un courant important de circulation rapide, et sur certaines voies du littoral particulièrement fréquentées par les touristes.

Les départements les plus atteints, sous ce rapport, sont les suivants :

Seine. — Sur la totalité du réseau.

Seine-Inférieure. — Sur 150 km (routes nationales, nos 14, 15, 27 et 182).

Côte-d'Or. — Sur 94 km (routes nationales, nos 5 et 74, ligne de Paris à Lyon).

Seine-et-Oise. — Sur 92 km (routes nationales, nos 5, 7, 10, 184, 185, 186, etc.).

Loiret. — Sur 90 km (routes nationales, nos 7 et 20).

Seine-et-Marne. — Sur 84 km (routes nationales, nos 3, 5, 8, 19, 33, 34, 36).

Oise. — Sur 70 km (route nationale, no 17).

Alpes-Maritimes. — Sur 60 km (route de Cannes à Menton).

Charente. — Sur 65 km (route nationale, no 10, de Paris à Bayonne).

Si nous faisons le total des sections sur lesquelles on nous signale des dégradations importantes, nous ne dépassons pas le

chiffre de 2000 km, appartenant pour la plus grande partie à des routes nationales.

Bien que ce soit là un résultat trop élevé, largement suffisant pour justifier l'intérêt que l'on attache à la recherche d'une solution permettant de lutter, avec quelque succès, contre les dégradations résultant du passage à haute fréquence des voitures automobiles, on voit qu'il ne s'agit cependant que d'une très faible partie du réseau de nos routes et chemins.

Il nous est donc permis de conclure, avec quelque apparence de probabilité, que ce réseau, considéré dans son ensemble, répond aux nécessités de la circulation moderne; que le type en service de la « route actuelle », avec quelques améliorations de détails, répondra encore pendant de longues années aux nécessités de cette circulation, et que le type mis à l'étude sous le nom de la « route de l'avenir » ne doit s'appliquer, pour le moment, qu'à un cas particulier, susceptible d'une certaine extension, mais dont la généralisation ne paraît pas encore proche.

Conclusion nette, précise et rassurante.

Il est vrai que certains esprits ont vu un danger à ce développement simultané des différents moyens de transport; ils ont craint la naissance d'une concurrence nuisible rendant inutile une part du capital national utilisé pour les travaux publics.

Les tableaux suivants sont de nature à calmer toutes les inquiétudes de ce genre (1).

ANNÉES	ROUTES NATIONALES — NOMBRE MOYEN DE COLLIERS par département et par jour	CHEMINS DE FER — NOMBRE DE KILOMÈTRES en exploitation
1851	244	3500
1857	246	↓
1864	237	
1869	240	
1876	207	20200
1882	230	↓
1888	240	
1894	232	
1903	251	38000 environ

(1) *Les Progrès économiques de la France*, par Edmond Thiérry.

De 1851 à 1903, le nombre de kilomètres de chemins de fer mis en exploitation passe de 3500 à 38000; le nombre moyen de colliers de nos routes nationales reste invariable comme le montrent dix comptages également répartis.

Pour les chemins de fer, chacun des citoyens de France les utilise de plus en plus et de mieux en mieux.

DÉSIGNATION	ANNÉES			AUGMENTATION MOYENNE ANNUELLE	
	1877	1891	1905	Période 1877-1891	Période 1891-1905
Nombre de voyages par habitant	3,7	6,7	11,3	0,2	0,3
Nombre de kilomètres parcourus par habitant . .	131,4	216,1	361,3	6,1	10,4
Dépense de voyage par habitant (francs)	6,8	9,4	13,2	0,2	0,3
Tonnes de marchandises transportées par habitant	1,673	2,529	3,546	0,061	0,073
Tonnes kilométriques par habitant	220,8	320,6	451,0	7,1	9,3

La navigation fluviale à son tour, nous donnerait des résultats comparables.

Nettement, le brillant Congrès qui se termine, aura atteint son but indiqué si clairement par M. le Ministre des Travaux publics dans son discours de la Sorbonne :

« Adapter la route aux nécessités de la locomotion nouvelle. »

La Route, comme le disait Bartet, dans les beaux vers du gala des Français :

... C'est l'artère féconde,
Où circulent la Vie et le Progrès du monde.

Telle elle est déjà, telle elle deviendra de plus en plus avec les perfectionnements de chaque jour, telle elle restera alors même que se réalisera (et il est bien près de devenir une réalité) ce rêve si éloquemment visé par le discours ministériel : « Rêve de parcourir, en des vols audacieux, les espaces infinis de l'air. »

CONCLUSIONS VOTÉES PAR LES SECTIONS

ET PROPOSÉES A L'ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE

1re Question. — La route actuelle.

1° Le Congrès appelle l'attention des constructeurs sur la résistance, les soins, le mode d'exécution et le rôle important de la *fondation des chaussées*, cette partie de la route influant considérablement sur l'usure et la conservation du profil de la chaussée.

Dans le choix du système de fondation, on tiendra compte de la nature du sous-sol, de la nature de la chaussée, du trafic et des véhicules qui circulent sur la route;

2° Le Congrès estime qu'une *fondation sur béton de 10 à 15 cm d'épaisseur* est particulièrement recommandée dans l'exécution des pavages, même avec des pavés de gros échantillon.

Dans ce cas, la pose des pavés aurait lieu sur un matelas de sable de faible épaisseur;

3° Le Congrès pense qu'il est désirable que les essais tentés pour incorporer intimement du goudron et des matières bitumineuses aux matériaux de revêtement des chaussées se poursuivent et s'étendent en vue d'arriver à des moyens d'exécution pratiques et économiques;

4° Comme matière d'agrégation employée pendant le passage du rouleau sur le revêtement, il est recommandé par le Congrès de faire usage d'une matière d'agrégation appropriée à la nature des matériaux et réduite à la quantité minimum;

5° Le Congrès émet le vœu que la disposition des rangées de pavés, obliques à l'axe de la route ou perpendiculaires à cet axe, fasse l'objet d'observations et d'études ultérieures;

6° Le Congrès émet le vœu que les pavages en petits pavés, qui ont été signalés comme procurant d'excellentes chaussées, au point de vue de la résistance et de l'économie, fassent l'objet d'études et d'essais sur les routes de circulations diverses.

2e Question. — Procédés généraux d'entretien.

A. — *Chaussées empierrées.*

1° En attendant que les essais en cours permettent de transformer les procédés actuels d'entretien des chaussées empierrées, il est recommandé aux divers services chargés de cet entretien de *généraliser l'emploi des rechargements généraux cylindrés et de limiter les emplois partiels* à la disparition des flaches importantes, surtout vers la fin de la période

d'aménagement et principalement au cours de l'hiver qui précède le rechargement cylindré;

2° Employer, autant que faire se pourra, des matériaux durs, homogènes, cassés régulièrement; choisir la matière d'agrégation, eu égard à la nature des matériaux employés, en la réduisant d'ailleurs au minimum;

3° Effectuer *les rechargements sur toute la largeur à la fois de la chaussée, lorsqu'il est possible de détourner la circulation sur l'accotement ou sur des voies avoisinantes, des poteaux indicateurs, placés aux bifurcations de côté et d'autre, faisant connaître l'exécution du cylindrage et la direction à suivre pour l'éviter ;*

4° Poursuivre, avec tout le développement utile, les expériences portant sur les revêtements de chaussées exécutés avec matériaux imprégnés de goudron, suivant divers procédés ou comportant l'emploi de toute autre matière liante. Il importerait de contrôler soigneusement les résultats obtenus, eu égard à la dépense, au profil en long et en travers, à la durée, à la formation de la poussière et de la boue, à l'intensité de la circulation et du tonnage, afin d'arriver à la détermination du type de chaussée répondant le mieux aux besoins et aux exigences du roulage moderne sur les routes les plus fréquentées.

B. — *Chaussées pavées.*

1° N'employer que des matériaux absolument homogènes et parfaitement échantillonnés ou choisis ;

2° N'utiliser que du sable graveleux;

3° *Maintenir constamment la régularite du profil* en faisant disparaître immédiatement les flaches et dépressions par les soufflages et repiquages nécessaires ;

4° Faire un remaniement général des pavages comportant des déformations d'ensemble assez marquées et auxquelles ne sauraient remédier efficacement des repiquages ayant trop souvent le défaut d'amener d'autres irrégularités de profils ;

5° Autoriser l'établissement des canalisations d'eau, de gaz, etc., sous les chaussées pavées, à titre exceptionnel et à défaut de toute autre solution pratique.

3e Question. — LUTTE CONTRE L'USURE ET LA POUSSIÈRE.

1° Le Congrès recommande le pavage ou tout revêtement perfectionné pour remédier à l'usure et à la poussière sur les routes à circulation lourde très intense ;

2° Le Congrès préconise le développement du nettoiement et un arrosage léger et fréquent, le tout au moyen de procédés mécaniques : il conseille l'emploi de revêtements propres à faciliter le balayage et l'ébouage ;

3° Le Congrès estime que les émulsions goudronneuses ou huileuses

les sels déliquescents, etc., ont une efficacité réelle, mais malheureusement très courte et qu'en conséquence, leur emploi n'a pu jusqu'ici être envisagé que pour des circonstances spéciales (courses automobiles, fêtes, etc.). Mais il convient certainement de continuer les essais, tant avec les produits actuels qu'avec des produits de même nature qui pourraient être ultérieurement proposés.

La plantation d'arbres le long des routes mérite également d'être encouragée au point de vue de la suppression de la poussière ;

4° En ce qui concerne l'utilisation du goudron :

a) Le Congrès estime que le goudronnage bien fait est incontestablement un remède efficace contre la poussière et qu'il protège dans une certaine mesure les chaussées contre l'action destructive des véhicules en général et surtout des automobiles à grande vitesse ;

b) Emploi du goudron dans le corps de la chaussée :

Les expériences faites jusqu'à ce jour ne sont pas encore suffisantes pour juger définitivement les résultats obtenus. Il est à désirer que l'on poursuive ces essais en s'inspirant de l'expérience acquise dans différents pays.

4e Question.

La Route future.

1° Le Congrès considère que là où la circulation à traction mécanique n'a pas une grande intensité, la route actuelle, si elle est établie et entretenue conformément aux conclusions qui ont été adoptées sur les deux premières questions, répond aux conditions désirées.

2° *a)* La chaussée de la route future doit être homogène et constituée par des matériaux durs, résistants, solidement reliés et non glissants ;

b) N'offrir pour les véhicules de toute espèce qu'une chaussée unique, de largeur proportionnée à l'importance de la circulation (6 m au minimum), sauf dans le cas exceptionnel des grandes avenues de luxe, où la séparation en plusieurs chaussées peut être recommandée ;

c) Ne présenter que le minimum de bombement compatible avec l'écoulement des eaux ;

d) Offrir des déclivités de valeur moyenne avec un écart aussi faible que possible entre la déclivité maximum et la déclivité minimum, étant entendu qu'on peut exceptionnellement sacrifier la déclivité, si cela est nécessaire, pour éviter les courbes de faibles rayons ;

e) Les rayons des courbes seront aussi grands que possible (50 m au minimum), les entrées et sorties de courbes seront raccordées avec les alignements au moyen d'arcs paraboliques ;

f) Les virages pourront être relevés, mais sans excès, de manière à ne pas gêner les voitures ordinaires ; la vue en sera bien dégagée. Du côté du petit rayon, l'on ménagera un petit trottoir limité par une bordure et l'on interdira le dépôt des tas des cailloux ;

g) Les croisements des chemins seront bien visibles et bien dégagés ;

h) Les passages à niveau devront être évités autant que possible, et

en tout cas, être bien découverts et bien signalés, même la nuit. La traversée des routes par les tramways devra être signalée.

3° Le Congrès recommande l'aménagement, le long des routes, de pistes cyclables et cavalières, partout où elles sont utiles.

Enfin, il est désirable que les routes soient jalonnées, autant que possible par des arbres.

5e Question.

Effets des nouveaux moyens de locomotion sur la route.

A. — *En ce qui concerne la vitesse.*

1° La circulation des automobiles rapides, avec bandages pneumatiques, produit à la surface des chaussées une dispersion des menus matériaux d'autant plus accentuée et profonde que la vitesse de la marche est plus grande et, pour les chaussées empierrées, que l'homogénéité de la chaussée est plus faible, les matériaux moins solidement enchevêtrés, la matière d'agrégation moins incorporée au revêtement et les circonstances plus propices à la formation de la poussière.

2° Toute accélération trop vive, soit par démarrage brusque, soit par emploi brutal des freins, augmente les dégradations dans des proportions considérables. Il en est de même, bien qu'à un degré moindre, de tout changement de vitesse.

3° Dans les virages, l'action de la force centrifuge s'ajoute aux efforts tangentiels dus à la vitesse, et peut augmenter considérablement les dégradations.

B. — *En ce qui concerne les bandages élastiques ou rigides avec ou sans antidérapant.*

1° Pour les automobiles rapides, il importe de réduire autant que possible l'action exercée sur les chaussées par les bandages pneumatiques en n'employant que des semelles de roulement formées exclusivement de matériaux souples, ou armées, tout au plus, de rivets à formes adoucies, ne présentant, eu égard à leur diamètre, qu'une saillie très modérée.

2° Pour les automobiles de poids lourd, camions ou tracteurs, les bandages des roues, s'ils sont rigides, doivent être à surface lisse, sauf dans des cas spéciaux, et sur des itinéraires convenablement choisis.

C. — *En ce qui concerne l'action du poids.*

La circulation des automobiles de poids lourds, sur les chaussées empierrées, tend à dégrader celles-ci, principalement par formation de frayés et d'ornières. Pour éviter ces dégradations, il importe notamment que la charge des roues par centimètre de largeur de jante ait une

valeur modérée, eu égard à la résistance de la chaussée au cisaillement. Un maximum de 150 kg par centimètre de largeur de jante paraît généralement convenir avec le diamètre des roues actuellement usité. D'autre part, la valeur absolue de la charge par essieu est à considérer, les jantes trop larges ne pouvant exercer sur le sol une pression uniforme, à raison notamment du bombement des chaussées. La plus grande valeur de la charge par essieu, compatible avec une suffisante conservation de la route, dépend d'ailleurs à la fois de la constitution de celle-ci et de la vitesse des véhicules.

6e Question.

Effets des chaussées sur les véhicules.

Le Congrès constate qu'il est à noter que, quel que soit le point de vue auquel on se place, on arrive toujours à la même conclusion. Lorsque, pour une cause ou pour une autre, on se trouve, du fait de la route, dans des conditions désavantageuses pour la voiture automobile, la route a elle-même à souffrir de cet état de choses.

En conséquence, il est conduit à dire que, si l'on supprime tout ce qui, dans la route, tend à détruire les véhicules, ceux-ci ne sauraient être une cause d'usure anormale de la route, pourvu qu'ils soient maintenus dans les limites compatibles avec la constitution de la chaussée considérée (actuelle ou future), en ce qui concerne leur vitesse, la nature de leurs bandages, leur accélération et leur poids.

7e Question.

Les signaux de la route.

Le Congrès émet le vœu :

Que le bornage kilométrique soit réorganisé le plus tôt possible d'après un plan général et d'ensemble pour tout le territoire de chaque pays ;

Que le principe de cette organisation soit celui de la liaison entre les grands centres ;

Que les indications de distance soient faites au départ des grandes villes pour toutes les routes rayonnant autour de ces grandes villes ;

Qu'un modèle uniforme de borne soit employé et que les inscriptions y soient peu nombreuses et très lisibles ;

Que le principe appliqué à l'estimation des distances soit établi d'une manière uniforme pour toutes les villes et régions, de façon à permettre la totalisation des distances.

Que des démarches soient entreprises pour obtenir, dans tous les pays, l'application de principes identiques et en parfaite concordance dans les différents pays ;

Que les indications administratives soient réduites le plus possible

sur les plaques indicatrices de directions, afin de laisser la plus grande surface aux inscriptions de directions ;

Que, au point de vue des intérêts de la circulation internationale, pour les signaux d'obstacle ou de danger, le système des signaux symbolisant la nature de l'obstacle, complété par le nom de l'obstacle en langue nationale, soit adopté par tous les pays intéressés.

Que le nombre des signaux soit réduit à quatre, savoir :

1° Obstacle en travers ;

2° Virages ;

3° Passages à niveau ;

4° Croisement dangereux.

Que les poteaux indicateurs d'obstacle et de danger, lorsqu'ils seront fournis par des sociétés privées, après avoir été acceptés par l'Administration, et posés par ses soins ou sous sa surveillance, soient considérés comme des accessoires de la voie publique, et bénéficient dès lors de la protection résultant de la législation existante.

8e Question.

M. de Préaudeau, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, ouvre la séance à 9 heures un quart.

M. le Rapporteur général rappelle l'exposé de la question et les premières discussions de la séance du 15 octobre au soir, puis la parole est donnée à différents orateurs pour la discussion générale.

M. le Président met ensuite aux voix les conclusions de M. Limasset, Ingénieur en chef, rapporteur général. A la suite d'amendements divers, elles sont adoptées dans la forme suivante :

1. Les véhicules automobiles peuvent rendre des services pour le *transport en commun* des personnes, sans dommage appréciable pour la route, à condition de *ne pas dépasser 18 km pour la vitesse moyenne de marche et 25 km pour la vitesse maximum, et de réduire le poids de l'essieu moteur au strict minimum sans jamais dépasser 4 t, en charge, pour l'essieu le plus lourd*. Le poids par centimètre de largeur de jante ne doit pas dépasser *150 kg* avec le diamètre des roues actuellement usitées ;

2. Les transports industriels, au moyen de voitures à moteur détonant ne peuvent être une cause de dommage pour la route, à la condition de se maintenir dans les limites suivantes, pour la vitesse et le poids :

Pour des vitesses moyennes de *16 km et pour des vitesses maxima de 25 km, le poids en charge de l'essieu le plus lourd ne doit pas dépasser 4 t.*

Pour des vitesses moyennes de 10 km et pour des vitesses maxima de 15 km le poids en charge de l'essieu le plus lourd ne doit pas dépasser 5 t : les bandages correspondants à l'essieu moteur peuvent être en métal, mais avec des surfaces lisses.

Dans tous les cas, la pression des bandages par centimètre de longueur de jante ne doit pas dépasser *150 kg avec les dimensions actuelles des roues.*

3. Dans l'état actuel des routes et de l'industrie automobile, il est difficile de se prononcer sur les questions qui se posent à l'occasion des

camions à vapeur de poids lourds. Leur usage étant nécessairement circonscrit à un rayon limité, il y aurait à voir comment on pourrait, le cas échéant, leur imposer un itinéraire déterminé qui serait pourvu de chaussées appropriées.

4. Pour confirmer et compléter ces indications, le Congrès émet le vœu qu'il convient de réunir des renseignements précis, contrôlés par les autorités compétentes, permettant d'établir les rapports à maintenir suivant la nature des chaussées et la résistance des ouvrages d'art, entre la vitesse, le poids, la largeur des jantes et le diamètre des roues, la nature des bandages et le mode de suspension des véhicules, le nombre des essieux et leur écartement.

Les § 5, 6 et 7 sont adoptés sans modification.

5. Il est désirable, tant dans l'intérêt de l'entretien de la route que pour la bonne exploitation, d'établir des voies de chemins de fer d'intérêt local en dehors de la plate-forme de route ; en tout cas, il convient, partout où cela est pratiquement possible, d'établir ces voies et celles des tramways sur pistes spéciales laissant une chaussée libre de 5 m de argeur au moins.

6. Quand les voies doivent être placées dans la chaussée, il est désirable qu'elles soient établies au niveau du sol, sans saillie ni dépression et sans altération des profils normaux, tant dans le sens transversal que dans le sens longitudinal, et que la chaussée soit établie avec des dimensions telles qu'en dehors de l'espace occupé par le matériel du tramway, il reste une largeur libre de chaussée d'au moins 2,60 m ; il est recommandé que les rails soient munis d'un contre-rail, qui pourra, soit être réuni au rail pour former une pièce unique à gorge, soit en être distinct.

7. Le Congrès émet le vœu que les concessionnaires de tramways, dans l'intérêt commun de tous, continuent les recherches entreprises depuis un certain temps, non sans succès, pour améliorer la construction et l'entretien des voies, et notamment des appareils en chaussée, et qu'ils poursuivent la suppression de tout ce qui peut être une cause de gène, pour la circulation en général.

LE CARBORUNDUM

PAR

M. L. BARADUC-MULLER

Bien que le carborundum soit maintenant connu de tout le monde, il était intéressant, semble-t-il, de résumer quelques-unes des propriétés de ce produit déjà ancien du four électrique, au début d'une ère nouvelle, où ce genre de four va régner en maître, en aidant à résoudre avec succès les plus audacieux problèmes de la métallurgie et de l'électrochimie.

Avant de parler du carborundum et de ses propriétés physiques ou chimiques, connues dès longtemps ou récemment découvertes, avant de passer en revue les applications industrielles qui en ont été faites, il est curieux de rappeler que le carborundum est, comme tant d'autres découvertes, arrivé presque quinze ans trop tôt, dans un monde trop jeune qui ne l'a pas compris !

Alors, pour rattraper maintenant les années perdues, les chercheurs l'appliquent un peu à toutes choses : le carborundum s'en tire d'ailleurs à son honneur, et il donne plus, parfois, qu'on n'aurait osé espérer.

Qu'est-ce donc que ce corps au nom étrange et tant soit peu rébarbatif, que l'on appelle industriellement « carborundum »?

C'est une combinaison de silicium et de carbone, effectuée dans de certaines conditions, atomes à atomes, en donnant une molécule de carbure de silicium qui a pour formule chimique « SiC ».

Ce carborundum se présente sous deux états allotropiques : cristallisé et amorphe.

Le carborundum cristallisé est le seul intéressant et qui possède des propriétés remarquables de dureté, de résistance aux plus hautes températures et aux agents chimiques les plus violents. C'est d'ailleurs celui que l'on cherche à obtenir dans la

fabrication, le carborundum amorphe n'étant que son sous-produit.

Bien que répondant très sensiblement à la même formule chimique que le carborundum cristallisé, l'amorphe ne jouit d'aucune des qualités industrielles qui font la valeur du cristallisé.

Aussi lorsque, au cours de cette étude, le nom de « carborundum » sera mentionné tout seul, sans adjonction de qualificatif, il faudra l'entendre dans le sens de « carborundum cristallisé », à moins que, au contraire, le qualificatif d'amorphe ne lui soit ajouté.

D'ailleurs, n'y a-t-il que cette combinaison possible entre le silicium et le carbone? Non, car on a signalé, à un point de vue purement technique, d'autres combinaisons, les unes plus riches en silicium, comme Si^2C, préparé par l'action de la silice sur le carborundum précisément, à la plus haute température des fours électriques, les autres plus riches en carbone, comme SiC^2, formé par l'action de la vapeur de benzine sur du silicium chauffé au rouge vif. Ces composés ne paraissent avoir reçu ni applications industrielles, ni applications de laboratoire.

Il existe enfin quelques corps intermédiaires, mal définis, qui renferment, à côté du silicium et du carbone, de l'oxygène, du soufre et de l'azote. A la série des corps ternaires silicium-carbone-oxygène, appartient le « siloxycon » ou oxycarbure de silicium, qui s'efforce de se dresser en rival de son cousin germain le carborundum cristallisé ; mais sa complexité débile, due à sa composition chimique instable qui oscille entre des formules très différentes, comme de $SiCO$ ou Si^2C^2O à Si^7C^7O, ne peut lui conférer aucun des caractères du carborundum, dont il a tous les défauts accentués et aucune des qualité ; nous ne nous y arrêterons donc pas autrement.

Le carborundum, découvert tout à fait par hasard, il y a seulement quelque seize ans, est vieux, vieux comme le monde et, certes, le chimiste qui le découvrit ainsi, en 1893, au moyen des procédés électriques, tout récents à cette époque — qui semblaient devoir lui garantir la nouveauté de sa découverte — ne se doutait pas un seul instant qu'il ne faisait que reproduire au lieu de créer : en effet, ce corps, que l'on ne peut produire industriellement que grâce aux plus hautes températures des fours électriques, a été reconnu et isolé par Moissan d'un fragment d'astre

tombé sur notre planète dans l'Arizona, connu sous le nom de météorite du Cañon Diablo. Dans ce bloc de fer, pesant 183 kg et contenant de 91 à 95 0/0 de fer, le carborundum se trouve en bonne compagnie, puisque Moissan, Kunz et Huntington ont pu, entre autres corps, y reconnaître et caractériser du diamant noir, du diamant blanc en forme de gouttes, en forme d'octaèdres microscopiques et même des diamants à crapauds !

En l'honneur de Moissan, qui les isola ainsi, en 1904 et 1905, Kunz, de New-York, a proposé, d'ailleurs, de donner à ces magnifiques cristaux naturels de carborundum, couleur vert-émeraude, le nom de « Moissanite », sous lequel ils sont actuellement connus.

La présence de cette Moissanite et de ces diamants dans ce bloc métallique ne laisse pas que d'être suggestive sur la température, sur la pression, en un mot sur la quantité d'énergie qui régnait alors dans ces astres, au moment de leur mort ou sur notre planète, si on admet, comme certains géologues, que cette météorite n'est qu'un simple fer d'origine terrestre, analogue au fer d'Ovifack, découvert au Groënland par Nordenskiold !

Déjà, d'ailleurs, en 1880, Marsden, en étudiant la solubilité de la silice dans de l'argent fondu à haute température, contenu dans un creuset brasqué avec du carbone, mentionne la formation de lamelles hexagonales jaune pâle, qui étaient bel et bien du carborundum, ainsi que Moissan l'a établi, en reprenant les expériences de Marsden, mais que ce savant avait confondues avec du graphite, pour n'en avoir pas poursuivi l'étude, laissant échapper ainsi la gloire d'avoir réalisé la synthèse d'un corps d'autant plus difficile à obtenir à cette époque, 1880, que la question des fours électriques et des hautes températures qui en découlent était loin d'être résolue et que, de plus, l'étude des combinaisons du silicium commençait à peine.

En 1892, un savant français, Schutzenberger, chauffa longtemps à la plus haute température qu'il pût réaliser, avec un foyer à coke, soufflé, un mélange de silicium cristallisé et de silice, contenu dans un creuset en charbon de cornue. Du produit complexe qu'il recueillit, il isola, un corps amorphe nouveau qui répondait à la formule SiC : c'était le carborundum.

Enfin, en 1893, un Américain, G.-E. Acheson, qui se livrait depuis 1890 à des recherches sur la reproduction des diamants dans l'usine électrique de Monongahéla (Pensylvanie), dont il était directeur, le trouva par hasard sous forme de petits cristaux

bleus, brillants, tres durs, qui étaient bien du carborundum et non pas du diamant, comme il le reconnut par la suite.

Nous décrirons avec quelques détails le premier four électrique dont Acheson se servit, parce qu'il est assez curieux de voir quels ont pu être les berceaux d'applications industrielles appelées chaque jour à prendre plus d'importance.

Ce proto-type de four n'a été qu'une simple marmite en fer, comme en contient toute cuisine *(fig. 1)*; placée sur une brique, servant d'isolant à la fois thermique et électrique et avec un fil conducteur à la poignée, elle se trouve constituer une électrode parfaite. Puis un remplissage de la marmite avec du charbon de cornue, aggloméré avec un peu de goudron, que l'on évide en forme de cavité, constitue le creuset dans lequel le mélange à traiter sera chargé; la seconde électrode était formée par un cylindre en charbon de cornue plongeant dans la cavité avec les parois de laquelle elle devait former arc; ce dernier, une fois amorcé, pouvait être allongé en élevant le cylindre.

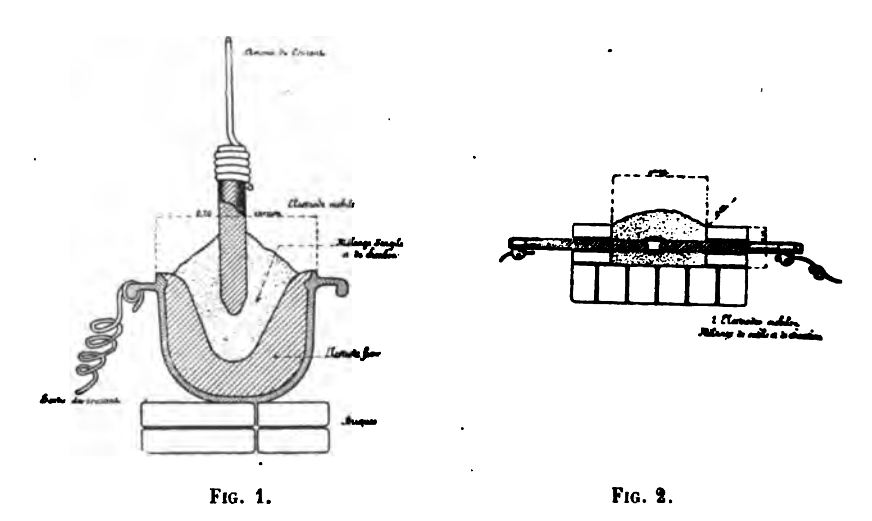


Fig. 1. Fig. 2.

Quel était donc le mélange traité dans ce four minuscule et qui avait donné de petits cristaux bleus? C'était tout simplement de l'argile et du charbon, et leur couleur bleue était produite par un peu de fer et d'acide titanique, que l'on trouve dans toutes les argiles.

Comme le rendement de ce four était très faible et afin d'obtenir une proportion plus grande de ces petits cristaux bleus, Acheson remplaça ce four rudimentaire par un autre plus per-

fectionné (*fig.* 2), composé d'une cavité horizontale cette fois, ayant une forme parallélipipédique de 20 × 10 × 10 cm; à chaque extrémité de ce four, un trou permettait l'introduction et le glissement d'électrodes en charbon de cornues, qui plongeaient dans la masse du mélange à traiter placé dans la cavité rectangulaire. Le rapprochement ou l'éloignement des électrodes permettait de faire varier la résistance du circuit; le courant employé était alternatif et possédait une intensité de 100 à 200 ampères et une force électromotrice de 50 volts.

Avec ce type de four, plus puissant que la marmite du début, Acheson eut en sa possession une quantité de cristaux plus que suffisante pour en faire l'étude et constater que loin d'être des diamants, ils étaient cependant susceptibles, une fois réduits en poudre fine, de polir le diamant.

Ne les ayant pas analysés et supposant, d'après les matières mêmes qui entraient dans la composition du mélange, argile plus ou moins riche en silicate d'alumine, et carbone, qu'ils étaient constitués par une combinaison de carbone et d'aluminium, Acheson appela le corps ainsi produit « carborundum », non composé de « carbo » (carbone, charbon) et de « corundum » (corindon, alumine cristallisée), dénomination inexacte, qui s'est maintenue pourtant, bien que peu de temps après Acheson ait reconnu le rôle important qu'y jouait le silicium à la place de l'aluminium.

Il fit donc de nouvelles expériences portant uniquement, cette fois, sur des mélanges de silice, au lieu d'argile, et de carbone, et modifia également le principe de son four qui, de four à arc qu'il était, devint un four à résistance, en remplaçant les électrodes mobiles et difficilement réglables par un cylindre unique en charbon de cornue traversant la masse du mélange à traiter et parcouru par un courant électrique. Les variations d'intensité et de force électromotrice qui se produisaient au fur et à mesure que la réaction se poursuivait, étaient corrigées par les procédés ordinaires de régulation.

Les résultats obtenus dans ce four et avec ce mélange de silice et de carbone furent tout de suite meilleurs, si bien que ce second type de four et ce second type de mélange sont restés le modèle de ceux actuellement employés dans la fabrication industrielle du carborundum, à quelques légères modifications près.

Également en 1893. Moissan publia plusieurs notes, montrant qu'il avait eu l'occasion de rencontrer quelquefois le carborun-

dum comme produit accessoire de réactions chimiques, au cours de ses recherches sur la cristallisation du carbone dans différents métaux, notamment ses travaux sur la solubilité du carbone dans l'argent fondu, en présence de la silice apportée par la matière des creusets confirmèrent la possibilité de produire du carborundum, réaction réalisée aussi, mais inconsciemment par Marsden qui, lui, partait de données un peu différentes comme on l'a vu.

Puis, toujours en 1893, en étudiant la vapeur émise par le carbone soumis à une haute température, Moissan put démontrer l'existence de cette vapeur en plaçant du silicium dans une nacelle, au milieu d'un tube en charbon de cornue fortement chauffé dans un four électrique. Il vit d'abord le silicium fondre et entrer en ébullition et, au fur et à mesure que sa vapeur s'élevait, elle venait rencontrer la vapeur de carbone qui descendait du haut du tube sous l'action calorifique de l'arc. Il se produisit alors entre la nacelle et le tube un lacis de fines aiguilles de carborundum, qui avaient été formées à l'état cristallisé et transparent par l'union directe des deux vapeurs.

Dans une autre expérience, en volatilisant de la silice, placée dans un creuset en charbon de cornue, contenu dans son four électrique alimenté par un courant de 350 ampères sous 70 volts, Moissan obtint aussi du carborundum.

Puis, dans la préparation du siliciure de chrome, en réduisant au four électrique un mélange d'oxyde de chrome et de silice par le carbone, Moissan constata qu'il se forme également du carborundum.

Toujours en 1893, en chauffant dans son four électrique un mélange de siliciure de fer ou ferrosilicium et de carbone, ou, plus simplement, un mélange de fer, de silice et de carbone, Moissan put obtenir du carborundum rassemblé au sein d'un culot métallique constitué par un alliage fer-silicium-carbone : ces cristaux sont toujours d'une couleur foncée due vraisemblablement à un peu de fer et de carbone en excès.

Dans un produit devenu courant maintenant, le carbure de calcium, on peut déceler directement une série de combinaisons du silicium, parmi lesquelles notamment du carborundum.

Enfin, pour terminer, lorsque le filament d'une lampe à incandescence contient un peu de silice, sous l'influence du courant électrique qui développe une température supérieure à 1 800 degrés, la silice est réduite par la matière carbonée du

filament et il se forme du carborundum; en ce point, la résistance augmente, du carbone adjacent se volatilise peu à peu et le filament se rompt; si on examine avec un microscope, le dépôt noir qui se forme à l'intérieur de l'ampoule on remarque, entre autres choses, de très petits cristaux caractéristiques du carborundum.

Voici maintenant une description rapide de quelques procédés de préparation du carborundum qui peuvent être employés dans les laboratoires.

La première préparation consiste à effectuer l'union directe du silicium et du carbone dans un four électrique à arc à la température de 2000 degrés au plus. Moissan a constaté qu'en employant du silicium, aussi exempt que possible de fer, il pouvait obtenir des cristaux tout à fait transparents, mais que le plus généralement, ils étaient colorés soit en jaune, soit en bleu saphir. Dans ce procédé de préparation, la question de la température joue un rôle important; en effet, si on répète cette expérience à la température d'un fourneau de fonderie, c'est-à-dire à 1550 degrés au maximum, on constate que le silicium fondu dissout du carbone, mais qu'il l'abandonne par refroidissement, à l'état de graphite, sans qu'il se soit produit de carborundum, comme dans le cas du chauffage au four électrique où la température atteint facilement 1800 à 2000 degrés.

La seconde préparation consiste à réduire de la silice par le carbone au moyen du four électrique comme Acheson l'a fait : on obtient ainsi des cristaux de carborundum peu colorés.

Enfin, lorsque Moissan opérait la préparation du carborundum, par l'un ou l'autre des deux procédés indiqués ci-dessus, mais en ajoutant dans son mélange du fer destiné à rassembler les cristallisations de carborundum, il obtenait des cristaux d'une couleur vert foncé, ou même noire, due vraisemblablement à un excès de fer libre ou combiné.

Mais la préparation qui est actuellement la plus pratique consiste à acheter tout simplement du carborundum que l'on peut se procurer facilement dans le commerce.

Voici terminée la liste — peut-être un peu longue et monotone mais qu'il était cependant nécessaire de rappeler — des circonstances de formation du carborundum, effectuée consciemment ou non par certains chimistes, ainsi que celle des préparations de ce corps.

Nous allons maintenant étudier sa fabrication industrielle.

Bien qu'il existe des fours de différentes dimensions, seul le plus puissant et le plus couramment employé sera décrit, parce que les plus petits ne diffèrent des plus grands que par la quantité d'énergie électrique qu'ils reçoivent ; leur principe est identique, seules leurs dimensions sont différentes et proportionnelles aux charges à traiter.

Le four électrique, dans lequel la réduction de la silice par le carbone s'effectue, est un four à résistance, essentiellement mobile, en ce sens qu'il est... démoli après chaque opération.

En général, dans le même atelier se trouvent réunis plusieurs fours identiques, permettant, dès qu'un four est arrêté, de mettre le courant sur le suivant, de manière à réaliser une marche continue.

Le four à carborundum se compose d'un assemblage de briques montées à joints secs, formant une cuve parallélipipédique, longue de 5 à 6 m, large de 1,50 à 1,75 m, profonde de 1,50 m dont les parois sont épaisses de 0,50 à 0,60 m *(fig. 3)*.

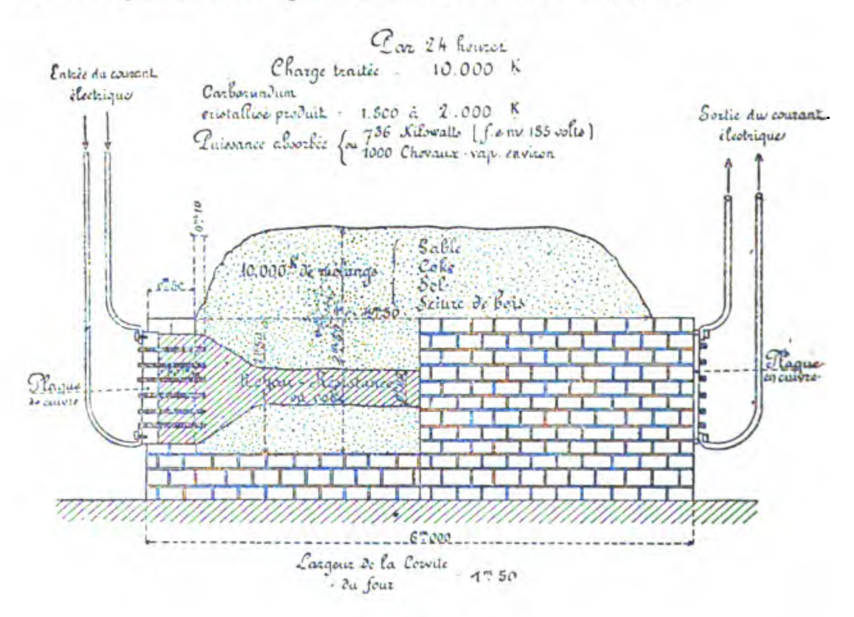


FIG. 3.

Aux deux extrémités de ce four, un faisceau de trente baguettes en charbon de cornue de 750 mm de longueur sur 75 mm de côté, traverse les parois du four et est relié à l'extérieur à une

plaque en cuivre d'amenée de courant, sur laquelle seront fixés ultérieurement les câbles transmetteurs d'énergie, au moment de la mise en marche du four. L'intervalle entre les baguettes du faisceau est rempli de graphite comprimé pour assurer une meilleure conductibilité.

La résistance, qui sera la source d'énergie calorifique, aura son point de départ et d'arrivée précisément au contact des faisceaux de baguettes en charbon de cornue, à l'endroit où ils débouchent à l'intérieur de la cavité du four. Elle est formée d'un noyau cylindrique en coke métallurgique, de 4,50 m de longueur avec un diamètre de 0,40 m, et pèse 900 kg.

Ce poids est constitué pour une moitié par du coke neuf, et pour l'autre moitié par du coke vieux, provenant d'un noyau résistant ayant subi une ou plusieurs chauffes. Ce dernier possède, en effet, une conductibilité électrique plus grande, due à ce fait que, sous l'influence des températures élevées qui prennent naissance dans ce noyau, les impuretés du coke neuf, cendres siliceuses, alumineuses, calcaires, etc., sont éliminées par volatilité, et que, par suite, la matière carbonée du coke est transformée en un graphite assez voisin, comme aspect et propriétés, de la plombagine, à la souplesse des particules près.

C'est pour diminuer cette trop grande conductibilité du coke vieux que l'on ajoute du coke neuf qui, par les impuretés qu'il renferme, offre au courant une résistance qui développera, dès le début, l'effet calorifique, jusqu'au moment où la température atteinte sera telle qu'à leur tour les impuretés du coke neuf seront volatilisées, et sa conductibilité augmentée de ce chef, jusqu'à prendre une valeur fixe, qui permettra alors de supprimer le réglage du courant électrique.

La mise en place de ce noyau, constitué par des petits morceaux de coke concassé et classé, que l'on comprime, en place, à la main, s'effectue quand le four est déjà à moitié rempli par le mélange à traiter. Lors de ce remplissage préalable, on évite le contact entre la partie des électrodes émergentes à l'intérieur du four et le mélange à traiter, en réservant à chaque extrémité des électrodes une « petite chambre » de 0,10 m d'épaisseur, au moyen de tôles mobiles appropriées.

A ce moment, on trace dans la masse pulvérulente du mélange une rigole semi-circulaire qui va d'un faisceau d'électrodes à l'autre et qui a un rayon de 0,25 m. Cette rigole servira de lit à la partie inférieure du noyau résistance, dont la partie supé-

rieure est préparée en forme de demi-cylindre, tassée et arrondie à la main.

Ce noyau offre la base nécessaire au développement des cristaux de carborundum, qui se déposent tout autour à sa surface, en forme d'anneaux, dont le diamètre ira en augmentant au fur et à mesure que la réaction s'opérera. Ce noyau doit être établi de manière à éviter toute dérivation du courant électrique au travers de la charge du four, dérivation qui ne s'effectue jamais qu'au détriment de la production des cristaux.

On parfait ensuite la connexion entre le noyau résistance et les faisceaux de baguettes, en remplissant au moyen de coke finement pulvérisé, les « petites chambres » de 0,10 m dont on enlève ensuite les tôles. On achève de remplir le four avec le mélange à traiter, en élevant au fur et à mesure les parois de briques jusqu'à 1,50 m du fond du four.

Enfin, une fois le remplissage terminé, on élève avec le mélange, un dos d'âne, qui règne sur toute la longueur du four et dont le sommet se trouve à 2,50 m du sol *(fig. 3 et 4)*.

Ce surplus de mélange à traiter sert au début de l'opération à diminuer les pertes de chaleur par rayonnement et à alimenter le four en mélange déjà chaud à mesure que la réaction s'opère autour du noyau de résistance et que, par suite, le volume de la charge diminue.

Le mélange traité dans un four américain ayant les dimensions décrites, pèse de 10 à 15 t et se compose de :

Sable quartzeux de l'Ohio . . .	29 à 30 parties.
Houille anthraciteuse ou coke pulvérisé provenant des charbons de Pensylvanie	20
Sciure de bois des Scieries de Tonawanda	2
Sel des Salines de l'État de New-York	5
TOTAL. . .	57 parties en poids.

Dans les usines de la Carborundum C°, le transport des éléments qui entrent dans le mélange est fait par une voie particulière, reliée à la Niagara Junction Rail-Road, le broyage et le criblage du coke, le magasinage sont mécaniquement et automatiquement faits, ainsi que le mélangeage, la mise en magasin

des charges à traiter et du carborundum. Il en résulte une grande diminution de la main-d'œuvre, qui permet à cette usine de livrer le carborundum à un bas prix que n'atteignent pas encore, malheureusement, les usines françaises.

Il peut sembler étrange, à première vue, de constater la présence de sel fusible vers 800 degrés et de sciure de bois inflammable vers 350 degrés, dans un mélange destiné à affronter les plus hautes températures. Le sel est là pour favoriser la réaction par les vapeurs qu'il émet ; la sciure de bois, par sa combustion préliminaire, peu après le passage du courant, donne à la masse du mélange la porosité indispensable pour permettre le dégagement rapide ultérieur des énormes quantités d'oxyde de carbone, — 60 0/0 du poids du mélange, — qui prendront naissance pendant que la réaction s'effectuera : porosité qui supprimera, par suite, le danger des explosions, ou des « souffles » de matières incandescentes chauffées à plusieurs milliers de degrés centigrades.

Le courant électrique que l'on envoie dans ce four possède une force électromotrice de 185 volts, transformés d'un courant primaire à 2 200, qu'un régulateur permet de faire osciller entre 100 et 250 volts.

Il est amené aux plaques conductrices du four par deux câbles en cuivre et passe auparavant dans un rhéostat, constitué par une grande cuve en fer contenant de l'eau salée, dans laquelle se meut verticalement une plaque de fer. Pour fermer le circuit, on amène la plaque mobile en contact avec le fond de la cuve ; pour l'ouvrir, on sort la plaque de l'eau salée ; entre ces deux positions limites, il y a un grand nombre de positions particulières de la plaque mobile à chacune desquelles correspond une résistance déterminée.

La constitution physique du noyau a une grande influence sur la résistance qu'il offre au passage du courant, ainsi que cela a été dit précédemment : en effet, avec un noyau neuf l'ampérage est relativement faible, au début, tandis qu'avec un noyau vieux, il est porté de suite de 1.200 à 1.700 ampères par le fait de sa grande pureté, génératrice d'une conductibilité plus grande elle-même. Aussi s'arrête-t-on à la solution intermédiaire qui consiste à mélanger les deux espèces de coke. Toutefois, on règle le courant de manière à vaincre la résistance du noyau qui, à froid, est beaucoup plus grande qu'à chaud.

La puissance absorbée par un tel four en pleine marche est

de 736 à 750 kw (6.000 ampères, 125 volts), soit 1.000 ch environ; celle-ci diminue peu à peu jusqu'à prendre une valeur fixe qui permet de supprimer le réglage. A partir de la mise en marche du four jusqu'à ce moment-là, le réglage du courant est effectué de quart d'heure en quart d'heure, après lecture du voltmètre et de l'ampèremètre.

Après trois ou quatre heures de marche, on commence à voir se dégager, par tous les joints du four et au travers du mélange, les petites flammes bleues de l'oxyde de carbone, produit par la réduction de la silice, par une partie du charbon, d'après l'équation :

$$SiO^2 + 2\,C = Si + 2CO.$$

Laquelle est d'ailleurs immédiatement suivie par celle qui constitue le carborundum, en combinant le silicium, au fur et à mesure qu'il naît, à l'excès de charbon :

$$Si + C = SiC \qquad \text{(carborundum).}$$

La réaction s'effectuant du centre de la masse vers sa périphérie, au bout de cinq à six heures, le dos d'âne du mélange s'affaisse, se crevasse et laisse passer des jets de flammes colorées en jaune par du chlorure de sodium et accompagnées de fumées blanches, dues à la volatilisation d'un peu de silice, d'un peu de silicium en vapeurs qui vient brûler à l'air, et des cendres du coke.

Après vingt-quatre heures de marche, on coupe le courant, on place les câbles sur les plaques du four suivant, que l'on met en marche à son tour.

Lorsque le four que l'on vient d'arrêter est à peu près refroidi, on démolit les parois de briques, on enlève en vue d'une prochaine opération la partie de mélange qui n'a pas réagi, faute d'avoir été portée à une température suffisante, mais qui a, toutefois, durci, par la fusion du sel et par la solidification de ses vapeurs condensées dans ses pores, on retire le carborundum amorphe (15 à 16 0/0 du poids de la charge), puis le produit principal, le carborundum cristallisé (22 0/0 du poids de la charge) et, enfin, le noyau-résistance, qui s'en distingue et s'en sépare très facilement.

Ce noyau a perdu environ 25 0/0 de son poids et est constitué maintenant par du carbone graphitique sensiblement pur.

Quant aux briques du four, elles sont grattées et débarrassées

des revêtements et des incrustations qui se sont formés à leur surface pendant la marche, afin de pouvoir servir à une autre opération. Faute de prendre cette précaution, il se produirait, par suite de la conductibilité électrique de ces incrustations, des dérivations de courant préjudiciables à la formation de nouveaux cristaux de carborundum.

Si on examine, après refroidissement, une coupe du four perpendiculaire au grand axe de la charge *(fig. 5)*, on voit au centre le noyau de résistance couleur noir brillant comme le graphite, puis un anneau d'une masse cristalline de carborundum,

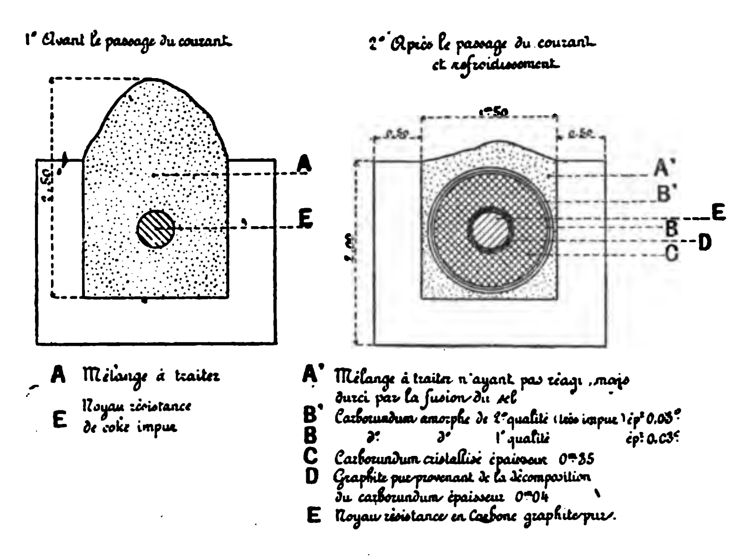


Fig. 4. Fig. 5.

allant de la couleur noir brillant comme du jayet à une coloration verte et irisée de magnifiques teintes dues à la polarisation de la lumière. La structure de ces cristaux est d'autant plus serrée qu'ils sont plus voisins du noyau ; en général, ils forment une grande masse d'un seul morceau, très poreuse, trouée deci de-là par quelques géodes, tapissées de cristaux de grandes dimensions et d'éclat et de teintes magnifiques.

Subitement, à 0,35 m du noyau environ, toute trace de cristallisation disparait et l'on trouve alors, un anneau d'une faible épaisseur, constitué par un mélange de carborundum amorphe,

gris verdâtre, et de siloxycon, puis le mélange n'ayant pas réagi.

Le rendement d'un four, ayant les dimensions de celui qui vient d'être décrit et traitant 10 t avec une puissance de 736 kw environ, est de 1 800 à 2 000 kg de carborundum cristallisé; il faut donc compter, en général, sur un rendement de 100 kg de carborundum cristallisé par 800 à 900 kelvins consommés.

Une fois extrait du four, le carborundum cristallisé est broyé par des meules en acier, tournant dans une cuve de même métal. Quoique ce corps soit extrêmement dur, ce broyage s'effectue sans trop d'usure pour les appareils, parce que le carborundum est heureusement assez cassant : cette fragilité permet d'effectuer une opération qui, autrement, eût été des plus difficiles à réaliser.

Ce traitement mécanique est suivi d'un traitement chimique qui consiste à faire digérer, pendant plusieurs jours, le carborundum broyé dans un bain d'acide sulfurique étendu (1/2), remplissant de grandes cuves en bois, afin d'éliminer toutes particules de fer métallique, provenant des appareils de broyage. Ces particules auraient, sans cela, une influence des plus nuisibles sur l'homogénéité et la résistance mécanique de l'élément céramique, destiné ultérieurement à agglomérer le carborundum, pour en faire des meules à grande vitesse. Un lavage à l'eau courante enlève toute trace d'acide au produit, qui est ensuite séché, tamisé et classé mécaniquement par grosseur de grains.

Les eaux acides et les eaux de lavage qui sont chargées de poussières et des « farines » de carborundum les plus fines entraînées et tenues en suspension, sont mises en décantation pour être débarrassées de ces poudres. Le classement de celles-ci s'opère d'après le temps qu'elles mettent à se déposer dans l'eau pure : les plus fines étant celles qui mettent le temps le plus long à se rassembler au fond des récipients; c'est pourquoi on dira « carborundum en poudre de la grosseur 0, 2, 4, 5, 12, 30, 60 minutes ».

Les morceaux de carborundum que l'on extrait du four, sont constitués par des assemblages de cristaux qui n'ont qu'une très faible cohésion, due à la porosité de la masse; ils ne se touchent le plus souvent que par de fines arêtes : cette constitution physique est évidemment causée par le dégagement gazeux important qui se fait pendant le traitement au four électrique, puisqu'en effet 60 0/0 de la charge disparaissent sous forme de gaz oxycarbonés.

On ne peut donc pas utiliser directement ces cristaux, il est nécessaire de les agglomérer au moyen d'un liant quelconque.

Pour remédier à cet inconvénient, et en vue de créer directement des masses de carborundum compact, très dures et libres de tout agglomérant permanent, Acheson préconise un procédé de fabrication tout récent, qui consiste à mélanger le carborundum cristallisé, produit dans une première opération et en grains d'une grosseur voulue, avec une faible quantité d'un agglomérant temporaire, à donner à la pâte la forme de l'objet désiré et à porter ce dernier dans un four électrique spécial, à la température de formation du carborundum.

Cette seconde cuisson élimine l'agglomérant, par combustion et volatilisation, soude les cristaux de carborundum entre eux, et donne un produit compact très dur, qui, lui, ne possède comme porosité que les infiniment petites cavités laissées par l'agglomérant disparu.

Un carborundum compact cristallisé est également fabriqué en France, par un procédé un peu différent, qui consiste à repasser pendant 16 à 18 heures, dans un four électrique, semblable à celui qui vient d'être décrit, mais alimenté par un courant de 450 kw seulement, les carborundums amorphes qui proviennent, comme sous-produits, de la fabrication du carborundum cristallisé.

Cette fabrication du carborundum compact a eu pour point de départ le conseil amical que nous avons donné en 1904, au directeur de la fabrique de carborundum de La Bathie, de traiter à nouveau au four électrique les carborundums amorphes, dont il ne savait que faire, mais surtout de les traiter, cette seconde fois, à une température supérieure à celle de leur formation, afin de les faire cristalliser.

En dépit de son nom, ce carborundum, dit compact, est toujours une masse poreuse, à structure cristalline, ressemblant un peu à de la pierre ponce fine comme aspect. Toutefois, sa structure est beaucoup plus serrée que celle du carborundum cristallisé ordinaire, par ce fait que la quantité de gaz à éliminer a été infiniment moins considérable, dans cette seconde cuisson, que dans la première.

Cette seconde opération a pour but, en effet, de porter le carborundum amorphe à une température telle qu'il prenne la forme cristalline : il ne se produit donc là qu'un changement d'état sans dégagement gazeux. Elle a pour but, de plus, de parachever la réduction des combinaisons oxycarbonées du

silicium, du type « Siloxycon », et enfin, de volatiliser les impuretés, comme les matières salines, qui accompagnent toujours les carborundums amorphes. Dans ces dernières réactions, au contraire, il y a des dégagements gazeux, dont l'importance dépend de la plus ou moins grande pureté des carborundums amorphes.

Ce carborundum compact peut se débiter facilement, sous toutes les formes, mais ne possède malheureusement pas la résistance mécanique qu'on lui souhaiterait : en effet, il se désagrège et tombe en poussière fine, sous la pression peu élevée de 50 kg par centimètre carré, ce qui est peu de chose, comparée au poussées formidables qui prennent naissance dans les maçonneries de four, sous l'influence des dilatations d'origine thermique.

Par contre, nous estimons qu'il peut rendre de réels services comme agent de condensation de vapeurs acides et pour constituer des cellules en électrolyse.

Un procédé tout nouveau de fabrication du carborundum compact vient d'être réalisé en Allemagne. Il consisterait à effectuer en carbone pur, moulé ou taillé dans du graphite, les pièces que l'on veut voir exécutées en carborundum, puis à soumettre ces pièces à l'action de la vapeur de silicium à très haute température de manière à les en imprégner. La réaction qui crée le carborundum cristallisé, par union directe du carbone et du silicium, s'effectue ainsi dans les parois mêmes des pièces en les transformant en un carborundum massif : par suite, elle leur conférerait une compacité et une dureté remarquables jointes à une très grande pureté.

Quant au prix de vente du carborundum cristallisé, il est actuellement, au maximum, de 70 f par 100 kg, sur wagon départ. D'après les renseignements que nous possédons, ce prix pourrait être vraisemblablement diminué de 50 0/0, à condition, bien entendu, que le tonnage du marché fût suffisamment important : au prix de 350 f les 1 000 kg, il commencerait à approcher le prix de vente des carborundums cristallisés américains sur wagon départ.

Au prix de 350 f la tonne, l'unité de silicium reviendrait sensiblement à 5 f, puisque le carborundum contient 70 0/0 de silicium environ : elle se trouverait donc valoir le même prix que l'unité de silicium dans les ferro-siliciums, au cours actuel de décembre.

Dans ce dernier cas, le carborundum cristallisé deviendrait un

produit extrêmement marchand, et serait assuré d'un débouché de plus en plus considérable.

Enfin le rapport que M. Plichon, député, vient de faire au nom de la Commission des douanes sur le projet de loi portant modifications des droits de douane sur les ferro-alliages, prévoit un droit de douane sur l'introduction en France des carbures de silicium étrangers. Ces derniers jusqu'ici n'en comportaient pas ou étaient taxés comme produits chimiques « ad valorem ».

Ce droit d'entrée dépendra de la teneur en silicium et, par suite, s'appliquera également aux ferro-siliciums.

Voici le tarif proposé :

MÉTAUX.

N° 205. *Désignation.* Ferro-siliciums et carbures de silicium		Tarif général par 100 kg	Tarif minimum par 100 kg
à plus de	5 0/0 de silicium jusqu'à 20 0/0	5,75 f	3,50 f
—	20 0/0 jusqu'à 70 0/0 de Si	7,50	5,00
—	70 0/0 jusqu'à 95 0/0 de Si	10,50	7,00

La plus importante des usines fabriquant le carborundum, tant par son ancienneté que par le tonnage sorti chaque année, est l'usine de la Carborundum C°, à Niagara Falls en Amérique.

En 1894, un an après la découverte du carborundum, par Acheson, l'usine de la carborundum C° fondée pour exploiter cette invention, avec une puissance de 135 ch, produisait annuellement 40 t de Carborundum, mais n'en vendait que 25 !

Malgré cela, les hommes qui étaient à la tête de cette firme avaient une telle confiance dans ce produit, et aussi en eux-mêmes, qu'ils n'hésitèrent pas, la même année, à signer avec la « Niagara Falls Power C° », un contrat leur assurant 1 000 ch, pour leur permettre de produire, dans le plus bref délai, 900 t par an !

Mais bien plus encore, pour utiliser cette puissance, la Carborundum C° avait à créer tout son matériel, se basant déjà à cette époque lointaine sur cette idée : « *A new product, new methods of making it !*

Cette audace devient héroïque, si l'on songe que le succès où l'échec de la campagne, qui allait commencer, dépendait uniquement des deux points suivants :

1° Une livre de carborundum ferait plus d'ouvrage et le ferait

plus vite qu'une livre d'émeri, et par là, posséderait une valeur intrinsèque plus grande ;

2° Le prix de revient de la livre de Carborundum, même en tenant compte d'une grande production, était tel qu'elle ne pourrait être vendue un prix aussi bas qu'une livre d'émeri.

Ceci bien établi, le succès ou la faillite de la carborundum C° dépendait finalement de la réponse aux deux questions suivantes :

1° Le carborundum rendrait-il au client un service suffisamment plus grand, son travail serait-il suffisamment rapide et meilleur pour lui compenser son prix d'achat plus élevé ?

2° Dans l'affirmative, le client serait-il amené à reconnaître ce fait ?

C'était donc de la part des managers de la firme américaine un grand coup d'audace que d'aller de l'avant en présence de conditions aussi « limites » à tous points de vue, semblait-il.

Cependant, les réponses arrivèrent rapidement affirmant qu'ils avaient eu raison d'oser : seule la dernière question vit sa réponse rester en suspens assez longtemps, par suite de l'esprit de routine qui adopte difficilement ce qui est trop nouveau, ou ce qui dépasse trop la compréhension moyenne des individus, même lorsque les qualités de la chose nouvelle crèvent les yeux !

Après quelques années de lutte, l'audace de la Carborundum C° fut bien récompensée puisque quatre ans plus tard, en 1898, la production des premiers 1 000 ch était absorbée, et que l'adjonction d'un autre millier de chevaux était décidée et mise à exécution.

Si bien qu'à l'heure actuelle, la production du carborundum par la Carborundum C° est passée, par jour, de 0,113 kg, en 1893, à 12 500 kg, soit 4 500 000 kg par an, produits avec une puissance de 2 000 ch.

Également en Amérique, l'Acheson Graphite C°, fabrique du carborundum.

Au Canada, il existait en 1898 une petite usine filiale de la Carborundum C°, disposant d'une puissance de 100 ch environ et destinée à maintenir la validité des brevets canadiens, pour la fabrication de ce produit.

En France fonctionne, depuis 1894, l'usine de La Bathie, près d'Albertville en Savoie. La quantité de carborundum produite y est, certainement, de beaucoup inférieure à la production américaine. Cette usine, en présence du fait que les brevets d'Acheson vont tomber sous peu dans le domaine public, est naturelle-

ment désireuse de garder, en fait, le monopole de la fabrication du carborundum, que lui conféraient, jusqu'ici, les brevets français d'Acheson ; aussi, aurait-elle pris ses dispositions, dès aujourd'hui, pour augmenter considérablement sa production, pour en diminuer le prix de revient et supprimer ainsi, par un bas prix de vente, toute concurrence qui chercherait à établir en France une autre fabrique de carborundum. Ce sera, là une heureuse tentative, dont les consommateurs n'auront qu'à se louer et qui, d'ailleurs, sera on ne peut plus favorable à la propagation de cet intéressant produit et au développement de son industrie (1).

En 1900, le carborundum était fabriqué par la Compagnie Internationale du Carborundum en Allemagne, à Dresde, et en Autriche à Alt Bénatek.

Actuellement l'usine de Bénatek continue à fabriquer le carborundum (2).

Le carborundum se présente sous la forme de cristaux très minces, à contours nets, à arêtes coupantes et à angles très aigus, résultant des brisures ou des clivages de cristaux de forme plus régulière *(fig. 1, planche 172)*. L'apparence des cristaux, normalement développés, est celle d'un hexagone, dérivant soit du système cristallin hexagonal, soit du système rhomboédrique ; leurs dimensions sont quelquefois assez grandes pour qu'ils aient une superficie de 2 à 3 cm carrés. Quelques-uns de ces cristaux sont parfois plus épais et présentent, alors, des stries parallèles qui sont dues aux arêtes de cristaux plats empilés, dont les dimensions décroissent insensiblement.

Les cristaux de carborundum sont incolores et transparents, lorsqu'ils sont préparés, comme l'a fait Moissan dans son laboratoire, en faisant réagir la vapeur de silicium pur sur la vapeur de carbone également pur. Dans la pratique industrielle, au contraire, leur couleur passe du gris vert ou du vert émeraude (comme dans le cas du carborundum trouvé dans la météorite du Cañon Diablo), au gris noir, ou même au noir de jayet, selon la proportion de fer et de carbone libres qu'ils renferment toujours à titre d'impuretés ; d'ailleurs, une très petite quantité d'un de ces deux corps suffit pour foncer grandement leur teinte.

Les cristaux de carborundum possèdent un éclat brillant, un peu gras, réfléchissent fort bien la lumière et s'irisent des plus

(1 et 2) Voir notes complémentaires page 842.

belles colorations: si bien qu'un ingénieux Américain, peu après l'apparition de ce produit, devint un sérieux client de la Carborundum C°, pour avoir eu l'idée de vendre de beaux cristaux de carborundum sous le nom de gemmes des Montagnes-Rocheuses!

Par la suite, les bijoutiers ont cherché, également, à tirer parti de ces superbes effets de colorations, pour remplacer certaines pierres précieuses. Ils ont dû renoncer à ce projet devant la quasi-impossibilité où ils étaient de tailler ou de cliver régulièrement ces cristaux si fragiles, qui avaient de plus le grand défaut de n'avoir qu'une épaisseur insuffisante pour leurs besoins.

Nous ajouterons, enfin, que les cristaux de carborundum agissent d'une manière très active sur la lumière polarisée.

La densité du carborundum a été trouvée égale à 3,12, dans certains échantillons, et à 3,22 dans d'autres: elle est donc un peu supérieure à celle de l'aluminium (2,60) et inférieure à celle de l'alumine (3,85), elle est sensiblement égale à celle de la chaux anhydre et pure, c'est donc un corps relativement léger.

La dureté du carborundum est très élevée, (9,5 à 9,75 de l'échelle de dureté de Mohr, le diamant valant 10, le corindon valant 9, l'émeri 6 à 8), elle n'est donc inférieure que de peu à celle du diamant. En effet, le carborundum raye profondément le rubis, le saphir, mais ne peut que polir certaines variétés de diamant; ses arêtes coupantes, par contre, pénètrent dans les aciers chrômés les plus durs en y pratiquant de longues et profondes entailles.

Au point de vue de son emploi comme abrasif, ce corps si excellemment dur est malheureusement un peu trop fragile, ses cristaux se clivent ou se brisent avec une déplorable facilité sous le moindre choc. Cet inconvénient devient, au contraire, un réel avantage lorsque l'on a à broyer cette matière extrêmement dure, qu'il serait pratiquement impossible de réduire en poudre fine, si cette fragilité n'existait pas.

Pour broyer du carborundum, et le transformer en une poudre fine, nous avons eu l'occasion de revêtir les parois d'un broyeur rotatif genre Alsing, avec des briques en carborundum elles-mêmes, et dont nous avions spécialement étudié la composition dans ce but. Nous n'avons eu qu'à nous louer de ce dispositif, qui a fait rejeter complètement le revêtement de plaques de quartz jusque-là employé et qui ne faisait qu'un usage ridicule au contact du carborundum.

L'emploi du carborundum comme abrasif est le principal

débouché de sa fabrication. C'est, d'ailleurs, vers ce but qu'a été dirigée, dès le début, toute la production sortie des usines, exploitant les brevets d'Acheson, et principalement de celle de la Carborundum C°, qui a édifié, comme l'a fait plus tard l'usine de Benatek, une usine spécialement destinée à fabriquer des meules et autres produits abrasifs similaires.

Pour la fabrication de meules, qui va être décrite un peu en détails, le meilleur procédé d'agglomération des cristaux de carborundum est celui dit « à la porcelaine »; car les procédés dits « au caoutchouc » ou « aux matières végétales et animales », qui donnent d'excellents résultats avec des corps de constitution physique analogue à celle de l'émeri, ne peuvent convenir au carborundum par suite des arêtes tranchantes de ses cristaux. Celles-ci, en effet, coupant et entaillent profondément la gomme ou les fibres chargées d'agglomérer le carborundum, lors de la compression pour lui donner la forme de meules ou autres formes.

On aurait essayé aussi un procédé d'agglomération à l'oxychlorure de magnésium pour les meules travaillant à sec.

Les usines de la Carborundum C°, comme celles de Benatek, utilisent uniquement le procédé céramique « à la porcelaine ».

Une des parties importantes de cette fabrication des meules est le choix de la grosseur des cristaux, du « grain », qui doit être bien en rapport avec le travail que l'on exigera de la meule. En général, les cristaux de carborundum à agglomérer se composent de deux ou trois grosseurs de grains; ils ont été lavés à l'acide très soigneusement, ainsi qu'il a été dit, afin d'être complètement débarrassés des particules de fer provenant des appareils de broyage, particules qui auraient une influence désastreuse sur l'agglomérant céramique, pendant la cuisson.

On ajoute aux cristaux 25 à 50 0/0 d'un mélange de poudres de feldspath et de kaolin, de la meilleure qualité, et on mêle le tout intimement, à sec, puis on humecte légèrement et on remplit les moules en acier, afin de donner la forme voulue.

La compression s'effectue alors, par procédé hydraulique ou mécanique, à une pression de 140 kg par centimètre carré, au plus, pour ne pas rompre les cristaux; afin que la masse soit également comprimée, dans toute l'épaisseur de la meule, un coup de pression est donné par chaque nouvelle couche de 5 mm de mélange, jusqu'à épaisseur voulue pour la meule.

Après dessiccation, les meules sont placées dans des coffrets en argile réfractaire cuite, ou « cazettes », qui sont empilés

dans des fours à porcelaine. On les chauffe à une température suffisamment élevée pour cuire et vitrifier les constituants céramiques et les transformer en porcelaine, qui va enserrer les cristaux de carborundum. Cette température oscille entre 1 300 et 1 400 degrés, selon les proportions des mélanges et selon les fabrications.

Après refroidissement, chaque meule est vérifiée, dressée, essayée avec un marteau, au son qui doit être clair, et éprouvée dans un appareil spécial, qui la fait tourner avec une vitesse de 40 à 80 0/0 supérieure à sa vitesse de rotation normale, par exemple 1 800 tours pour une vitesse de 1 000. De même, la vitesse circonférencielle d'essai des meules est de 50 m par seconde, alors que la vitesse normale des meules en travail a été fixée à 27 m par seconde pour les agglomérants céramiques: une meule de 100 mm de diamètre tournera à 5 000 tours par seconde, tandis qu'une meule de 750 mm tournera à 700 tours.

Au point de vue sécurité, le soin apporté au montage de la meule sur son arbre, l'absence de vibrations du châssis, influeront énormément sur sa durée et sur sa solidité; il n'est pas besoin d'insister sur ce sujet, car tout le monde a présents à l'esprit les règlements et les mesures de précaution édictés en ce qui concerne ce genre d'outils.

Les meules de carborundum travaillent à sec ou à l'eau, et s'emploient pour tous les travaux de dégrossissage, de la taille, du polissage des métaux, des pierres, du marbre, des pierres précieuses, etc. De très petites meules en carborundum sont employées par les dentistes, qui épargnent ainsi à leur patient 50 0/0 du temps que dure le meulage d'une dent souffrante. C'est évidemment beaucoup !

Nous ne décrirons pas toutes les formes particulières de meules selon les usages auxquelles elles sont destinées *(fig. 6)*, non plus d'ailleurs que toutes les pierres à faulx *(fig. 5, Pl. 172)*, pierres à aiguiser tous les outils, depuis ceux des professions les plus diverses jusqu'à ceux des chirurgiens, y compris les rasoirs, sans oublier les pointes de graveurs *(fig. 5, Pl. 172)*, ni les mèches à forer les trous de mines. Nous ne décrirons pas non plus les différentes étoffes ou papiers, revêtus de carborundum en poudre fine, et qui sont tous, de plus en plus, employés tous les jours, malgré le prix supérieur des produits abrasifs en carborundum sur ceux en émeri.

C'est que les meules en carborundum ont sur celles en émeri

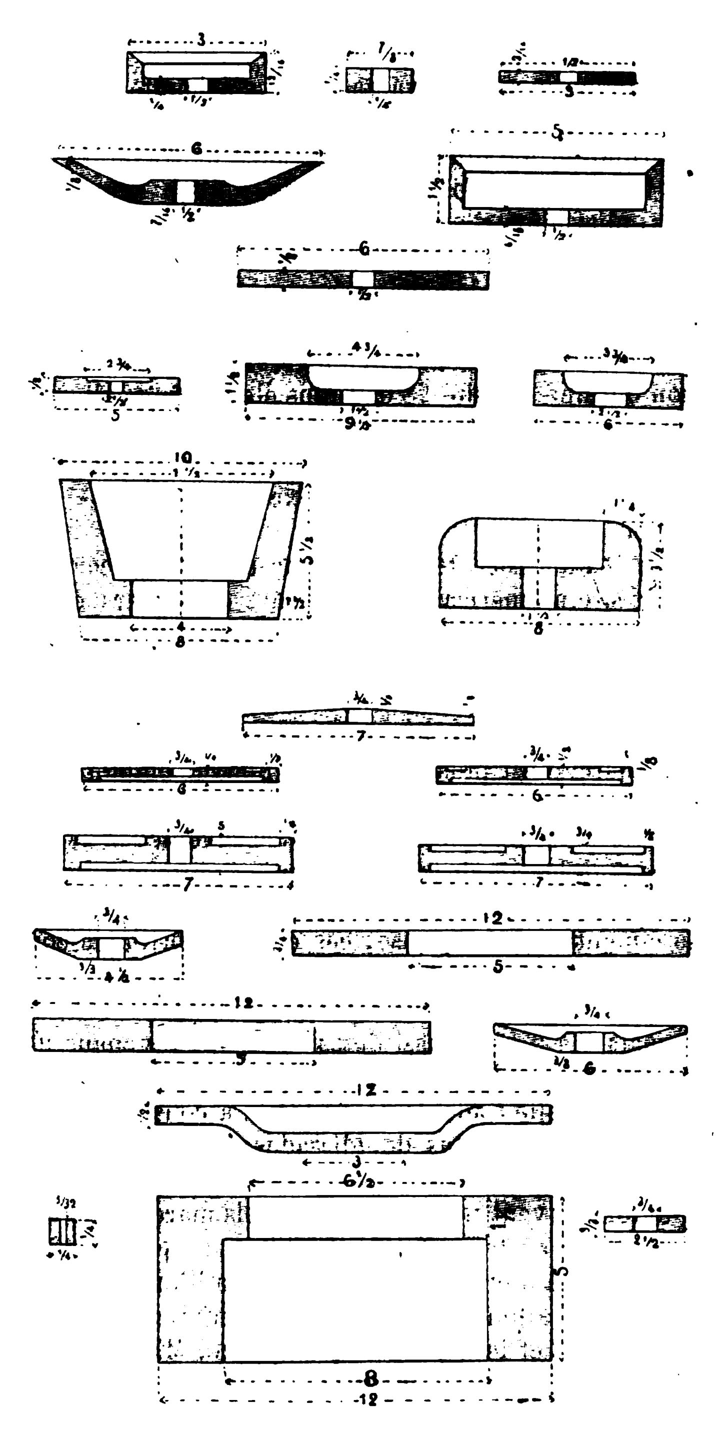


FIG. 6.

ou en corindon le grand avantage de n'échauffer que peu les matières à user, par suite de la grande conductibilité calorifique du carborundum. De plus, leur puissance de travail et de polissage est trois à quatre fois plus grande, tout en ayant une durée trois fois plus longue : la puissance usante d'une meule est représentée, pour un métal bien déterminé, par le nombre de grammes de limaille détachés par gramme de meules usé : elle est de 65 g de fer pour les meules en carborundum.

Enfin, ces meules sont plus légères, puisque l'émeri et le corindon ont une densité 28 0/0 plus élevée que celle du carborundum. Ceci augmente, tout de suite, le coefficient de sécurité des meules en carborundum, en leur donnant une charge de rupture par « éclatement dû à un excès de vitesse » beaucoup plus élevée.

Une application récente du pouvoir abrasif du carborundum est la fabrication américaine de marches d'escaliers et de parties de trottoirs, d'après le principe des meules, et qui sont destinées aux passage de circulation intense sous lesquels ne résiste aucune roche, si dure soit-elle. Ce sont de vraies machines à meuler les semelles, avec un rendement d'autant plus grand que la démarche est plus rapide ! Ce nouvel emploi du carborundum fera également le bonheur des cordonniers français, car un de leurs compatriotes a eu l'idée ingénieuse de faire, sur place, des marches ou des trottoirs entiers en ciment saupoudré de cristaux de carborundum incorporés par une légère pression dans le ciment, avant sa prise; ces cristaux brillants comme le diamant sont, d'ailleurs, du plus joli effet, le soir surtout. Ce procédé est plus élégant et plus souple que celui des gros blocs américains, mais il est tout aussi détestable pour les chaussures des personnes qui prennent souvent le Métropolitain. Cette Compagnie, depuis qu'elle a adopté ce système, a constaté avec plaisir qu'il ne se produisait plus de glissades dangereuses, non plus qu'aucune trace d'usure sur ses trottoirs ou dans ses escaliers, ainsi que le prouvent notamment les trois marches de la station « Gare de Lyon », qui ont été franchies en quatorze mois, de septembre 1905 à novembre 1906, par 14 millions de voyageurs!

Dans une étude toute récente sur la compressibilité des éléments chimiques et leur rapport périodique, MM. Richard, Stull et Brink ont trouvé que la compressibilité est une propriété périodique des éléments et qu'elle dépend partiellement des mêmes causes qui déterminent les volumes atomiques et la volatilité.

Ils ont pu mesurer la compressibilité du carborundun, qu'ils ont trouvée être égale à $0,21 \times 10^{-6}$;

Il est intéressant de remarquer qu'elle vient prendre place entre la compressibilité de ses deux constituants.

Celle du diamant, en effet, n'est pas supérieure à $0,5 \times 10^{-6}$ et celle du silicium n'est pas supérieure à $0,16 \times 10^{-6}$: ce dernier est, d'ailleurs, le moins compressible des quarante-cinq corps étudiés jusqu'ici par ces savants.

Abordons maintenant la question de la conductibilité calorifique du carborundum. C'est là un sujet intéressant, par les déductions industrielles que l'on en peut tirer, pour établir, par exemple, une enceinte susceptible de se mettre rapidement en équilibre de température, tout en ayant un caractère hautement réfractaire, caractère qui sera étudié plus en détail tout à l'heure.

Nous avions observé, dès 1905, que la conductibilité du carborundum était fort grande et qu'elle se rapprochait assez de celle de produits en plombagine, autant que nous avions pu en juger par un procédé simple, qui, s'il n'avait pas eu le mérite de nous donner des chiffres d'une rigueur absolue, avait eu l'avantage de ne prendre que peu de temps et de ne nécessiter, comme appareils, que trois thermomètres sensibles, à mercure et hydrogène, gradués jusqu'à 350 degrés, une source de chaleur, quelques éprouvettes à étudier, sous forme de règles de 150 mm de longueur ayant 1 cm² de section et munies d'un logement pour le réservoir du thermomètre, enfin, un chronomètre à secondes : ce que l'on cherche dans un laboratoire industriel, c'est plutôt des résultats comparatifs, obtenus rapidement par des moyens simples et toujours dans les mêmes conditions que des résultats absolus, dignes d'instruments compliqués et d'un laboratoire de science pure, toutes choses qui, si elles sont, en effet, indispensables pour le progrès des sciences en général, nons sommes les premiers à le reconnaître, ont l'inconvénient d'exiger des méthodes ou des études fort longues — quelquefois incompatibles avec le service courant d'un laboratoire industriel — et aussi un peu d'argent : or, les crédits pour un laboratoire d'usine, c'est en général ce que l'on accorde le moins facilement, — bien à tort !

Nous avons mis à profit cette qualité inappréciable du carborundum de bien conduire la chaleur, entre autres applications, dans la construction d'un four spécial de notre système destiné

à notre laboratoire (*fig. 2, 3, 4, Pl. 172*), et qui nous rendit, en maintes circonstances, les plus grands services, en permettant de réaliser, par l'emploi du gaz d'éclairage et de l'air sous pression, soit en allure oxydante, soit en allure réductrice, de très hautes températures, bien précises, mesurées au pyromètre optique thermo-électrique — (il est si vite fait, autrement, de parler de fours qui chauffent à 4000 degrés avec du gaz ou de la houille !) — et qui permit surtout, de réaliser ces hautes températures dans un temps extrêmement court : voici en effet, la courbe d'échauffement de ce four (*fig. 7*).

On conclura de l'examen de cette courbe qu'il faut que le carborundum se mette bien rapidement en équilibre de température pour résister à une pareille... bouffée de chaleur, sans éclater ni même se fendiller. C'est, en effet, le seul corps, parmi tous ceux qui ont été essayés dans ce four, argile, silice, alumine, magnésie, qui ait donné satisfaction, en réalisant ces deux qualités, qu'il est extrêmement rare de trouver simultanément dans un même corps : insensibilité aux variations thermiques les plus brusques et les plus étendues et résistances à de hautes températures.

Cette grande conductibilité calorifique a été mise en évidence, au moyen de chiffres rigoureux, par M. S. Wologdine, chargé d'une étude sur la conductibilité des matériaux réfractaires, par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

Dans une note préliminaire, il a montré que le coefficient de conductibilité, c'est-à-dire la quantité de chaleur exprimée en calories-grammes, traversant en une seconde une section de 1 cm², pour une variation de 1 degré par centimètre linéaire, avec une température de 1 000 degrés à l'intérieur de son four, était de :

0,0150 pour le carborundum,

et de 0,0145 pour un produit en plombagine (pâte à creuset), c'est-à-dire cinq fois plus grand que pour des argiles réfractaires ou non, moyennement cuites à 1050 degrés.

Afin de donner aux chiffres ci-dessus toute leur valeur vraie, ces recherches doivent être complétées par une étude de M. Wologdine sur les porosités respectives des échantillons examinés seulement, jusqu'ici, au point de vue conductibilité calorifique.

On comprendra bien la rapidité avec laquelle les parois d'une enceinte exécutée en carborundum pourront se mettre en équilibre de température avec un foyer, comme par exemple dans

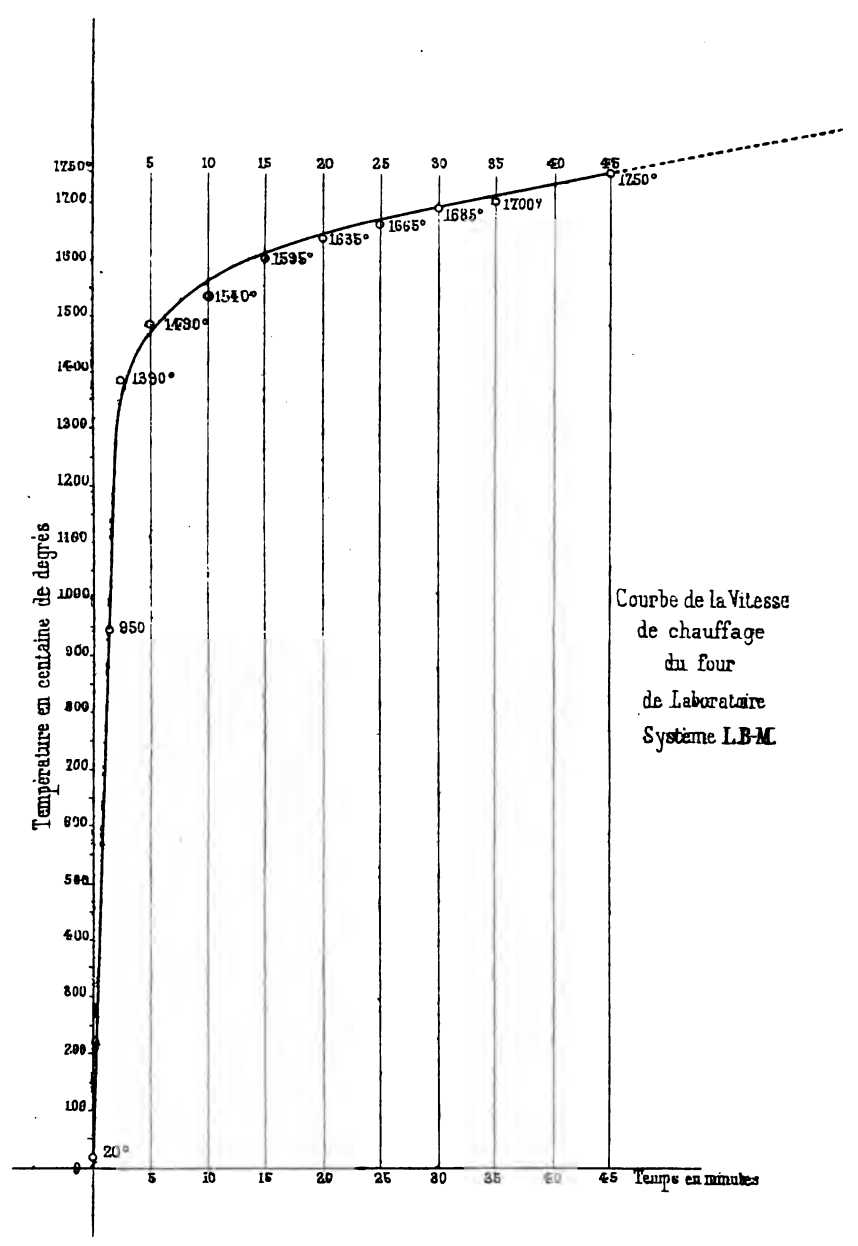

Température en centaine de degrés
Temps en minutes
Courbe de la Vitesse
de chauffage
du four
de Laboratoire
Système LB-M.

Fig. 7.

un four à moufle, et on se rendra compte de l'économie de combustible qui en résultera, si on ajoute, au fait de la haute conductibilité, celui de pouvoir fabriquer des pièces réfractaires en carborundum d'une épaisseur extrêmement faible. Ainsi on peut couramment exécuter des plaques, des dalles, plates ou cintrées, de forme carrée, ou de toute autre forme, ayant 1 000 mm de côté, sous l'épaisseur remarquablement petite de 20 mm seulement.

S'il avait fallu fabriquer les mêmes dalles en argiles réfractaires, l'épaisseur à leur donner eût été de 100 à 120 mm. Or, si l'on ajoute à ce fait que la conductibilité des argiles est de l'ordre de 0,003, c'est-à-dire cinq fois plus petite que celle du carborundum, on conçoit sans peine combien grande est l'infériorité des produits réfractaires argileux, lorsqu'ils ont aussi à remplir le rôle de conducteurs calorifiques !

Cette remarquable conductibilité calorifique du carborundum vient de recevoir, tout récemment, une intéressante application dans la fabrication de moules, où l'on coule l'aluminium, en vue de refroidir rapidement le métal coulé. En effet, l'aluminium, comme tout autre métal d'ailleurs, devient plus dense quand il est coulé dans un moule en carborundum, qui enlève rapidement au métal coulé sa chaleur. Dans ce fait, il se produit évidemment une sorte de trempe partielle, qui confère audit métal un grain plus fin et plus serré. Les moules en sable, au contraire, étant peu conducteurs de la chaleur, ne refroidissent les métaux que lentement et laissent, par suite, à leurs constituants tout le temps voulu pour cristalliser et s'isoler. Aussi les moulages d'aluminium, obtenus par le procédé des moules en carborundum, seraient-ils plus denses et plus beaux.

La fabrication de ces moules s'opère, d'après l'inventeur de ce procédé, en mélangeant à sec 4,530 kg de carborundum en poudre fine avec 0,340 de sucre et 0,283 d'argile, puis, en humectant avec assez d'eau pour obtenir une masse plastique, à laquelle on donne la forme du moule désiré et que l'on fait cuire ensuite.

Ces moules présentent, de plus, l'avantage d'être plus légers que les moules métalliques et de pouvoir être facilement cassés, broyés, réduits en poudre et réagglomérés à nouveau, sous des formes différentes.

Pour terminer ce qui a trait à l'action de la chaleur sur le carborundum, nous ajouterons qu'il est complètement infusible

aux plus hautes températures, mais qu'il se décompose brusquement en ses deux constituants, l'un fixe, l'autre volatil, lorsque la puissance de la source calorifique est par trop grande, et sans, d'ailleurs, passer par l'état liquide.

La conductibilité électrique du carborundum n'a pas été, semble-t-il, étudiée jusqu'ici d'une manière bien précise. Quelques très vagues recherches, effectuées sur des agglomérés de compositions différentes plus ou moins riches en carborundum, semblent devoir classer ce corps dans la seconde classe des conducteurs, c'est-à-dire dans celle des corps dont la conductibilité est d'autant plus grande que la température à laquelle ils sont portés est elle-même plus élevée. Il apparaît donc qu'il serait des plus intéressants d'effectuer une étude rigoureuse et systématique de la manière dont le carborundum se comporte vis-à-vis de l'énergie électrique, afin d'arriver à bien déterminer les conditions de son emploi en électrotechnique. Il est même probable qu'au cours d'une telle étude, on mettra en lumière, puis en valeur, quelques propriétés nouvelles qui, dans le cas contraire, peuvent fort bien rester trop longtemps ignorées... comme elles peuvent, d'ailleurs, fort bien être trouvées, par le plus grand des hasards, au cours d'essais empiriques.

Il est fabriqué actuellement, en Allemagne, un produit dénommé « Kryptol » qui sert à constituer des résistances calorigènes, sous l'influence du courant électrique, et qui permettrait d'atteindre des températures élevées. Ce produit est employé sous forme de baguettes ou de plaques, et mieux sous forme de poudres à grains plus ou moins volumineux, selon l'usage auquel ce « Kryptol » est destiné. Ce « Kryptol » serait composé, — et c'est même uniquement pour cela qu'il est mentionné, — d'un mélange de carborundum, de graphite, de silicates, de tungstates et de produits plus ou moins mystérieux qui lui ont valu son nom : (*Kruptos*, caché, mystérieux).

Enfin, une dernière application récente du carborundum est l'emploi qui en a été fait dans la télégraphie sans fil, pour constituer des radio-conducteurs destinés à déceler les ondes. Ce radio-conducteur se compose d'un tube de verre à l'intérieur duquel sont placés deux petits cylindres de cuivre, reliés l'un au fil de cuivre venant de l'antenne, l'autre au fil à la terre : entre ces deux cylindres se trouve la poudre de carborundum. Ce détecteur, très sensible, aurait sur les autres systèmes le grand avantage de fonctionner d'une manière des plus constantes.

Examinons maintenant les propriétés chimiques du carborundum :

Nous avons vu précédemment que le carborundum, ou carbure de silicium, est produit par la réduction de la silice, au moyen de charbon en excès, à une très haute température, en vertu des deux équations suivantes :

$$SiO^2 + 2C = Si + 2\,CO$$

$$Si + C \;= SiC \text{ (carborundum).}$$

Voilà le fait exposé en lui-même, brutalement, mais cela ne nous dit pas grand'chose sur les conditions techniques qui président à cette réaction chimique : jusqu'à ces temps derniers, on n'en connaissait pour ainsi dire rien. On savait simplement qu'il fallait faire passer dans le four à carborundum un courant d'une grande intensité et d'une force électromotrice suffisante pour vaincre la résistance du noyau et produire un effet calorifique intense. On estimait que la température qui devait régner dans le milieu du four était de 3 500 degrés, on disait donc que le carborundum était produit à 3 500 degrés et par suite qu'il devait résister également à 3 500 degrés.

Eh bien ! il faut diminuer ce chiffre d'un assez grand nombre de degrés pour être près de la vérité.

A ce propos, il est curieux de remarquer combien l'esprit humain, mis en présence de certains phénomènes tels qu'une combustion dont le rayonnement peut devenir, pour le corps qui le revêt, une cause de sensation désagréable, est porté à amplifier encore la puissance de la source de cette sensation : il la multiplie, en général, instinctivement, par un coefficient hors de proportion avec la sensation perçue.

Cela est si vrai, qu'il y a quelque cinquante ans, en l'absence de tout instrument de mesure, la température d'un four à porcelaine examinée par un « regard » était estimée à 6 000 degrés par les uns et à 14 000 degrés par les autres, tous hommes compétents cependant ! L'eau qui échaude sérieusement une main, n'ayant que 60 à 70 degrés, un pareil éblouissement de feu, un rayonnement aussi intense devait bien correspondre à 6 000 degrés au moins ! En réalité, la température d'un four à porcelaine n'est que de 1 450 degrés au maximum, d'après les mesures effectuées avec les plus sensibles et rigoureux instruments, ce qui est déjà fort beau pour quiconque sait la difficulté que l'on

a, dans les conditions de chauffage de ce genre de fours, à gagner seulement 10 degrés à partir de 1 200 degrés.

Revenons maintenant à la température qui peut régner dans un four à carborundum.

Deux Américains, MM. Tucker et Lampen ont, en effet, cherché à déterminer la température à laquelle le carborundum commençait à se former. Ils ont effectué pour cela toute une série d'expériences, en opérant dans un petit four électrique à résistance, dans des conditions aussi voisines que possible de celles de la fabrication courante.

La charge qu'ils traitaient pesait 8 kg environ et était constituée par :

34,2	parties de	coke,
54,2	—	sable,
9,9	—	sciure de bois.
98,3	en poids.	

Au milieu de leur four, ils avaient placé un tube de graphite contenant une rondelle de même matière, qui servait de surface de visée à un pyromètre optique thermo-électrique. De cette manière, il leur était facile de mesurer la température au sein du mélange, à tous les instants de l'opération.

Le résultat de leurs recherches fut que le carborundum se forme à 1 950 degrés seulement au lieu de 3 500 degrés, moyenne de plusieurs expériences, et qu'à cette température il commence à prendre la forme cristalline, et que, si l'on continue à chauffer, il se décompose à 2 200 degrés en silicium et carbone, sans passer par l'état liquide.

Cette suite très nette d'expériences permet de conclure deux choses : 1° que la combinaison silicium-carbone est effectuée à partir de la silice, avec un dégagement d'énergie calorifique faible, qu'en un mot elle est peu exothermique. On ne connaît pas, jusqu'ici, la valeur de cette exothermicité ; cette détermination n'a pas encore été tentée, elle ne paraît pas impossible à effectuer, bien qu'elle présente, à priori, quelques sérieuses difficultés de réalisation ;

2° Elle prouve que la température des fours à carborundum ne dépasse pas 2 200 degrés. En effet, lorsqu'elle atteint ou dépasse ce chiffre, on ne trouve plus de carborundum, au contact ou dans le voisinage immédiat du noyau-résistance, mais seule-

ment du carbone, brillant et souple, comme la plombagine la plus pure, ayant la forme cristalline, non pas du carbone cristallisé, comme on pourrait le croire, mais bien celle du carborundum ; c'est ce qu'Acheson a appelé le « squelette graphitique du carborundum ».

A cette température de 2 200 degrés, il y a eu dissociation, l'élément volatil, le silicium, a disparu ; il est resté l'élément fixe, le carbone avec la forme de la combinaison passagère.

Ce simple phénomène du squelette graphitique du carborundum est des plus captivants et mériterait, semble-t-il, de retenir longtemps l'attention d'un chimiste ou d'un physicien. En effet, la simplicité de la combinaison silicium-carbone, la conservation par le carbone seul de la forme cristalline passagère, alors que la dissociation est effectuée, permettrait, vraisemblablement, de constater des choses bien intéressantes sur ce phénomène mystérieux qu'est une combinaison chimique, sur le degré de condensation des différents éléments de la matière, sur l'arrangement et le groupement des particules de celle-ci et sur la quantite d'énergie mise en jeu.

Lorsqu'il est chimiquement pur, le carborundum cristallisé est uniquement composé de silicium et de carbone, dans les proportions suivantes :

	Proportions moléculaires.	Proportions en 0/0.
Silicium	28,4	70,29
Carbone	12	29,71
TOTAUX . . .	40,4	100,00

Le carborundum cristallisé industriel se rapproche assez de ces chiffres, comme on peut le voir par les quelques analyses suivantes qui correspondent aux différentes zones d'un four américain :

Dans la zone au contact du noyau-résistance, il y a souvent un mélange de graphite provenant de la dissociation du carborundum et de carborundum cristallisé, par exemple dans les proportions ci-dessous :

Graphite	66,29 0/0
Carborundum cristallisé	33,71
TOTAL.	100,00 0/0

et ce carborundum a lui-même comme composition :

Silicium	69,19 0/0
Carbone.	29,71
Aluminium et fer	0,39
Calcium.	0,19
Magnésium	0,06
Total.	99,54 0/0

Dans la zone principale de la réaction, les petites quantités du carborundum brut, le plus impur qu'il peut y avoir, se composent de :

Silicium	62,70 0/0
Carbone.	36,26
Aluminium et fer	0,93
Calcium.	0,11
Total.	100,00 0/0

Tandis que la majeure partie du produit de cette zone, le carborundum cristallisé, normal, est composé de :

Silicium.	69,10	à	68,26 0/0
Carbone.	30,20		30,49
Aluminium et fer . .	0,49		0,77
Calcium.	0,15		0,48
Totaux	99,94		100,00 0/0

Dans la zone gris verdâtre qui entoure la zone précédente, il n'existe presque plus de carborundum cristallisé, mais seulement du carborundum amorphe, tendre, qui ne possède aucune des qualités du cristallisé. Cet amorphe est toujours plus ou moins mélangé d'oxycarbures du silicium et souillé de combinaisons silicatées accessoires; débarrassé de ces dernières et aussi pur que possible, il répond à l'analyse suivante :

Silicium.	65,42 0/0
Carbone.	27,93
Aluminium et fer	5,09
Calcium.	0,33
Magnésium	0,21
Total	98,98 0/0

Quant à la dernière zone qui constitue la partie du mélange à traiter n'ayant que peu ou pas du tout réagi, elle se compose de :

Sels solubles dans l'eau.	11,19 0/0
Carbone libre	32,96
Sels insolubles dans l'eau. . . .	55,85
TOTAL	100,00 0/0

L'analyse des sels solubles dans l'eau donne :

Chlorure de sodium	96,57 0/0
Anhydride sulfurique.	2,43
Anhydride phosphorique	0,02
Magnésie	0,04
Chaux	0,19
Alumine	0,04
Sesquioxyde de fer	0,71
TOTAL	100,00 0/0

La partie insoluble se compose de :

Silice.	94,28 0/0
Alumine	4,24
Sesqui-oxyde de fer	1,75
Chaux	0,21
Magnésie	0,14
TOTAL	99,62 0/0

Tel qu'il sort des fours, le carborundum est suffisamment pur pour la plupart des usages industriels qu'on en peut faire, mais, au contraire, dans les cas où l'on voudrait effectuer, avec ce corps, des recherches de laboratoires délicates, il serait de toute nécessité de le purifier; voici, alors, comment on devra opérer :

On éliminera le fer, l'alumine, la magnésie et la chaux, en traitant le carborundum cristallisé par de l'acide chlorhydrique concentré et à chaud; on lavera à l'eau bouillante et en remuant sans cesse; puis on fera agir sur lui une dissolution chaude et étendue de soude caustique ; on lavera à nouveau à l'eau bouillante et on filtrera. La poudre obtenue est séchée et calcinée, selon la quantité, soit dans un moufle à une température de

1 000 degrés environ, en renouvelant fréquemment la surface de la poudre en contact avec l'air, soit dans un tube à combustion à 500 degrés environ en présence d'un courant d'air ou d'oxygène.

Cette combustion détruit tout le carbone libre dont elle ne laisse que les cendres contenant encore un peu de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, de magnésie et de chaux. On élimine ces derniers par un second traitement à l'acide chlorhydrique suivi d'un lavage et d'une digestion en présence d'acide fluorhydrique pur. Un lavage énergique et prolongé à l'eau distillée chaude donne finalement le carborundum cristallisé aussi pur que possible et débarrassé des éléments libres comme le fer, l'aluminium, le calcium et le magnésium, ou de leurs sels, à l'exception toutefois de la partie de ces éléments qui est combinée au silicium : elle se trouve, en effet, à l'état de dissolution solide ou de composés complexes au sein de la molécule de carborundum et ne peut pas toujours en être dégagée.

Maintenant que l'on connait bien le carborundum, ainsi que son acte de naissance, voyons comment il sait se comporter dans la vie chimique.

Voici tout d'abord quelques réactions qui nous amèneront ensuite aux phénomènes chimiques d'ordre industriel, qui sont les plus importants et que le carborundum est appelé à rencontrer à chaque instant.

Le caractère chimique dominant du carborundum est une indifférence absolue à l'action des corps acides.

C'est ainsi que l'acide sulfurique concentré, que les acides fluorhydrique et chlorhydrique, que l'acide nitrique ou que le mélange des acides nitrique et fluorhydrique qui dissout si facilement le silicium, n'ont aucune action sur le carborundum cristallisé à aucune des températures auxquelles on peut employer ces corps soit en solution, soit à l'état de vapeurs ou de gaz, sans toutefois, bien entendu qu'ils soient dissociés en leurs éléments.

Certains corps, malgré leur activité chimique très grande ne sont susceptibles d'attaquer le carborundum qu'à haute température, alors que, dans la majorité des cas, ils agissent déjà à froid.

Ainsi le chlore, qui donne des « ailes aux métaux », selon la vieille définition des alchimistes, reste inactif jusqu'à 600 degrés; à 600 degrés l'attaque est légère, puis à partir de 1 200

degrés, elle devient complète et justifie l'axiome, en libérant de son union avec le carbone le silicium, qui disparaît, avec ses ailes à l'état de composé plus ou moins chloré.

La vapeur de soufre, par contre, est sans action à 1 000 degrés.

Certains corps solides, intimement mélangés à du carborundum en poudre fine, ne sont également capables de réagir que selon la température à laquelle le mélange est porté.

La silice, par exemple, qui à 1 000 degrés reste, pendant deux heures sans action sensible sur le carborundum, auquel elle est mélangée, puisqu'il ne disparaît que 0,5 0/0 de carborundum, attaque, au contraire, ce corps avec énergie, dans un four électrique, dont la température oscille entre 2 000 et 2 500 degrés et donne du silicium et du protoxyde de silicium (monox).

La chaux et la magnésie, en mélange avec le carborundum, après deux heures de chauffe, à 1 000 degrés, en ont attaqué 33,6 0/0.

Dans les mêmes conditions opératoires, certains silicates, à base de chaux et de magnésie, comme $3\ SiO^2 + 2\ CaO + 3\ SiO^2 + 2\ MgO$, font disparaître 31 0/0 de carborundum; certains ciments également transforment, toujours dans les mêmes conditions, de 24 à 35 0/0 de ce corps.

Il faut bien remarquer, à ce propos, l'influence des quantités, et l'état physique des corps cités comme pouvant attaquer le carborundum. En effet, dans les expériences qui viennent d'être énumérées, *un* gramme de carborundum en poudre fine était mélangé, « noyé » — c'est réellement le terme — dans *cinq* grammes des corps indiqués, également en poudre fine; (on sait bien à ce propos l'influence qu'à la division de la matière sur la possibilité d'une réaction entre solides), et c'est ce mélange qui était chauffé! Or, y aura-t-il jamais entre les parois d'un four et sa charge pareille intimité? Évidemment non!

Dans un four à ciment, par exemple, la brique en carborundum, qui entre dans la constitution du revêtement réfractaire, sera bien au contact du ciment à haute température, mais seulement sur une face, et, de plus, la brique entière ne sera pas à la température de la face.

Il est certain que le ciment doit réagir sur l'infime couche superficielle du carborundum, en donnant des composés intermédiaires entre le ciment pur et le carborundum; mais, et c'est là le point intéressant, ces composés intermédiaires adhéreront fortement, seront difficilement fusibles et protégeront la partie

sous-jacente du carborundum du contact du ciment au rouge blanc : ils lui conserveront ainsi son pouvoir réfractaire.

Si nous insistons sur ce genre de réactions accessoires, c'est qu'elles sont fort nombreuses dans l'industrie et qu'elles ont une importance capitale. Elles permettent, en effet, d'utiliser certains produits, en contact avec certains corps, alors que ceux-ci, mélangés à ces mêmes corps et traités dans un laboratoire, sont aux trois quart détruits, et semblent devoir être inutilisables. Et pourtant ils sont utilisables, puisque l'expérience de chaque jour le prouve !

C'est que le chimiste, dans son laboratoire, est un être pessimiste qui, ayant à sa disposition des moyens puissants et subtils, va de suite chercher la limite des forces de son adversaire ! Il est une sorte de médecin légiste, car son métier est de chercher le point faible, la petite tare explicatrice dans le corps de son patient, et Dieu sait quel traitement il lui fait subir pour cela ! On peut donc bien dire que le chimiste est un passionné de destructions... pour mieux reconstruire après !

Pour continuer l'étude des propriétés chimiques du carborundum, nous rappellerons que la soude et la potasse fondue attaquent, au rouge sombre, le carborundum ; même lorsque ces deux bases sont combinées à l'état de sels, comme dans le silicate de soude, par exemple, elles attaquent le carborundum à partir de 1 300 degrés, et elles le détruisent rapidement en présence de gaz oxydants. La réaction de la soude ou de la potasse au rouge devient extrèmement vive si l'on ajoute un composé chimique susceptible de céder de l'oxygène au carborundum, en la circonstance, comme les nitrates alcalins ou alcalino-terreux, les sulfates, les carbonates, les chromates, les peroxydes, etc.

On se sert même de cette réaction pour analyser le carborundum. En effet, le silicium se dose à l'état de silice, comme dans un silicate, après attaque par un mélange de carbonate et de peroxyde de sodium ou de nitrate. Le carbone se dose à l'état d'acide carbonique, après attaque soit par du chromate de plomb, soit par de l'acide chromique, mélangés à du sesquioxyde de bismuth, dans un tube à combustion parcouru par un courant d'oxygène. Pour le dosage du carbone, il est parfois nécessaire de recommencer l'attaque, pour être bien sûr de l'oxydation de tout le carbone.

Il reste, au sujet des propriétés chimiques du carborundum,

à décrire diverses réactions qui peuvent se passer entre lui et certains gaz oxydants et réducteurs, et, puisque ces gaz constituent l'atmosphère ordinaire des foyers ou des fours industriels, nous en profiterons pour traiter de l'emploi du carborundum comme produit réfractaire, sous forme de briques, de pièces de four, etc.

Nous rappellerons d'abord que dans un four quelconque, brûlant une matière carbonée, la marche de la combustion idéale doit se faire en allure gazeuse neutre, c'est-à-dire avec un volume d'air comburant tel que toute la masse carbonée ou hydrocarbonée trouve strictement le volume d'oxygène nécessaire pour être transformée en anhydride carbonique et vapeur d'eau, en dégageant le maximum d'énergie calorifique. Il est évident, en effet, qu'un excès d'air — inutile à la combustion — afin de se mettre en équilibre de température avec l'enceinte qu'il traverse, lui empruntera un certain nombre de calories qu'il emmènera à la cheminée : résultat, X 0/0 de charbon brûlé en perte par excès d'air.

D'autre part, une admission d'air insuffisante pour assurer une bonne combustion entraîne également à la cheminée une partie du charbon, sous forme d'hydrocarbures, de poussières charbonneuses intactes et surtout sous forme d'oxyde de carbone : résultat Y 0/0 de charbon mal utilisé et perdu par défaut d'air.

Or, toute marche de four oscille entre ces deux limites extrêmes, qu'elle atteint plus ou moins fréquemment et pendant une période plus ou moins longue chaque fois ; voyons donc comment se comportera le carborundum au contact de ces différents gaz.

Les gaz neutres ou réducteurs, tels que l'azote, l'hydrogène et l'oxyde de carbone, sont sans action sur le carborundum, et dans ce cas, le pouvoir réfractaire de ce dernier est donné par la température limite à laquelle il commence à se dissocier, soit 2 200 degrés.

C'est ainsi qu'un intérieur de four en carborundum, d'une épaisseur de 15 mm, que nous avons fait exécuter spécialement pour un four électrique de laboratoire, à arc, alimenté par un courant de 600 à 700 ampères, sous 75 volts, a supporté à plusieurs reprises une température de 2 000 degrés à la paroi, alors qu'il y avait environ 2 500 au centre ; la variation thermique a été de 2 485 degrés en 7 minutes environ. Le carborundum est toujours

resté intact, sans présenter ni trace de fêlure, ni trace de dissociation, ni trace d'oxydation, l'atmosphère étant réductrice (oxyde, carbone).

Les gaz oxydants, au contraire, comme l'oxygène, l'air, puis l'acide carbonique et l'eau à l'état de gaz, à une température telle qu'ils soient dissociés, le premier en oxyde de carbone et oxygène, c'est-à-dire à 1 800 degrés environ, le second en hydrogène et oxygène, c'est-à-dire vers 1 775 degrés selon les uns, ou 2 000 degrés selon les autres, ces gaz oxydants peuvent au contraire, exercer sur le carborundum une action comburante, dont l'intensité dépend de la température et des conditions expérimentales.

Nous avons effectué, à ce sujet, une série de recherches de laboratoire sur l'oxydation du carborundum, que nous résumerons en quelques mots.

Tout d'abord, aucune oxydation dans l'oxygène pur jusqu'à 1 000 degrés, ce qui est déjà très beau comme résistance, quand on songe à la facilité avec laquelle ce qui peut brûler s'enflamme aux plus basses températures, dans ce gaz puissamment actif!

Puis, pour étudier, à des températures supérieures à 1 000 degrés l'action de l'air, qui est jusqu'ici le comburant généralement... utilisé, nous avons employé comme source de chaleur le four de notre système *(fig. 2, 3, 4, Pl. 172)*.

Les éprouvettes d'essai étaient constituées par des petits creusets de 50 mm de diamètre extérieur supérieur, 30 mm de diamètre inférieur, 60 mm de hauteur et 5 mm d'épaisseur. Ces éprouvettes étaient fabriquées avec du carborundum industriel, pur ou mélangé avec différents agglomérants, puis moulées à des pressions différentes aussi : nous avons pu étudier ainsi d'une manière très systématique les modifications apportées à la puissance réfractaire du carborundum par les variables du mélange.

A l'intérieur du four, l'éprouvette-creuset — qui pouvait être fermée par un couvercle de même matière — recevait. sur son fond, le puissant jet de flamme du brûleur qui l'entourait complètement. La pression de l'air chaud, alimentant le brûleur, était de 800 à 1 000 g, par 1 cm², et la température de 1 750 degrés pouvait être atteinte en 45 minutes, à partir du four froid. Pour chacun des exemples qui vont suivre, la montée en température s'est faite très vite, d'après la courbe *(fig. 7)*, et la température indiquée a été maintenue, chaque fois, pendant une

heure. C'est dire les conditions particulièrement dures de ces essais.

De 1 000 degrés à 1 350 degrés, nous avons constaté une oxydation superficielle à peine sensible, qui se traduit, cependant, par un durcissement de la paroi de l'éprouvette aux environs de 1 350 degrés, résultant de traces de silice, qui prend naissance et soude les petits cristaux les uns aux autres.

C'est en utilisant, d'une manière particulière, cette réaction que nous avons pu faire exécuter, en carborundum pur, des pièces assez importantes, et notamment tout le matériel réfractaire nécessaire à notre laboratoire.

De 1 350 degrés à 1 500 degrés, cette oxydation superficielle augmente, et à 1 500 degrés il se produit une couche extrêmement mince de silice, transparente et fondue qui commence à être visible à l'œil nu.

Cette fusion de la silice, à 1 500 degrés, nous a permis de tirer quelques déductions au sujet de la chaleur de formation du carborundum, déductions qu'il serait, d'ailleurs trop long d'exposer ici.

De 1 500 degrés à 1 600 degrés, l'oxydation semble se ralentir un peu, par suite de la très petite couche de silice fondue devenue régulière, qui protège les couches de carborundum sous-jacentes du contact des gaz oxydants incandescents.

Enfin, de 1 600 degrés à 1 750 degrés, la couche de silice fondue est uniforme et, quand on approche de 1 750 degrés, elle devient pâteuse et se boursoufle ; elle coule par endroits à 1 750 degrés, sous l'influence de la chaleur dégagée par l'oxydation, qui devient plus active à la surface du carborundum.

Telle est, d'ailleurs, la raison pour laquelle la chambre de combustion de ce four de laboratoire ne peut faire qu'un nombre assez restreint de chauffages à 1 750 degrés.

Pour bien se rendre compte de la quantité d'énergie destructrice que représente une température de 1 750 degrés, nous rappellerons qu'un cristal de quartz pur pesant 10 gr est fondu dans ce four en une goutte à calotte sphérique; que les produits réfractaires argileux sont fondus et transformés en une matière analogue au verre à bouteille, que les argiles les plus résistantes forment des masses pâteuses semi-fluides : que la magnésie pure est frittée, et commence à se glacer, après avoir pris un retrait considérable et augmenté de densité ; enfin, le platine est liquide depuis 1 710 degrés.

En résumé, au moyen de ce four et de ces éprouvettes, nous avons pu étudier, en vue de l'emploi du carborundum comme produit réfractaire :

1° L'influence de la nature chimique de l'agglomérant, et celle de ses proportions;

2° L'influence de la pression d'agglomération ;

3° L'influence de la température de cuisson ;

4° La conductibilité calorifique du mélange ;

5° La porosité du mélange ;

6° Sa résistance à l'oxydation ;

d'où nous avons pu déduire son maintien général au feu, et par suite, déterminer qu'elle devait être la composition exacte du meilleur produit réfractaire à base de carborundum. De cette étude, est ressortie pour nous la conviction qu'il ne suffisait pas, pour avoir un bon produit réfractaire, de mélanger, au petit bonheur, et du carborundum, et des argiles quelconques, et du silicate de soude, etc., le tout en proportions déterminées empiriquement, comme nous l'avons vu faire il y a quelques années.

On conclura, de cette étude sur les phénomènes d'oxydation, que l'emploi du carborundum sera difficilement possible dans les fours à gaz de la grande métallurgie, dont la température est de 1 700 degrés à 1 800 degrés, et dont la combustion des gaz se fait toujours en allure un peu oxydante.

C'est ce que l'expérience a semblé démontrer.

En effet, deux briques pleines en carborundum, placées pendant quatre-vingt-deux heures, l'une dans l'arrivée de gaz d'un four Martin acide, l'autre dans l'arrivée de gaz d'un Martin basique, ont été rongées presque également d'un quart de leur volume, à une de leurs extrémités seulement, par les gaz oxydants.

Nous devons faire remarquer, toutefois, que placées dans une maçonnerie de four, ces briques en carborundum n'auraient été exposées à la haute température des produits de la combustion que par une de leurs faces seulement. Étant ainsi refroidies par la partie de brique noyée dans la maçonnerie, leur température aurait été certainement moins élevée, leur usure moins rapide, que placées comme elles l'étaient en plein milieu du courant gazeux incandescent, qui les baignait sur toutes leurs faces, moins une.

Comment se fait-il donc que des briques ou des pièces, faites

en ce même carborundum, puissent donner dans de certains fours, marchant cependant à allure oxydante, des résultats particulièrement remarquables de durée, de résistance mécanique, d'insensibilité aux variations thermiques et de haut pouvoir réfractaire, et cela à des températures qui atteignent et dépassent les 1 600 degrés mesurés, température à laquelle l'oxygène de l'air comburant commence à avoir une action sensible?

Cela tient à ce fait que, dans les fours à houille, à coke, soufflés ou non, les cendres légères de la matière carbonée, composées de silice, d'alumine, de sesquioxyde de fer, de corps basiques viennent se coller à la surface des briques en carborundum, fondent et saturent la couche superficielle du carborundum, en l'attaquant légèrement. Ces cendres fondues forment ainsi un émail brun-marron sans solution de continuité, qui constitue un obstacle imperméable aux gaz, dont l'action sur les couches sous-jacentes de carborundum sain se trouve rendue impossible : ce carborundum, ainsi protégé, garde, alors, sa haute capacité réfractaire absolument comme s'il était en atmosphère réductrice.

Cet émail, par suite de sa réaction partielle avec le carborundum de la surface des briques, voit son point de fusion s'élever et demeurer, à partir de ce moment, stable à des températures auxquelles les cendres qui ont servi à le constituer sont complètement fondues. La chose devient tout à fait intéressante, si l'on se rappelle que ce sont précisément ces mêmes cendres fondues, qui attaquent si vite les produits réfractaires argileux et qui les transforment si rapidement, sous l'influence de la température, en silicates des plus fusibles.

Voici, à l'appui de ce qui vient d'être exposé, un exemple pris entre plusieurs :

Une batterie de quatre gros fours céramiques, chauffés à la houille, destinés à des calcinations et à des cuissons aussi élevées que possible, et dont la température, au gueulard des foyers, oscillait de 1 570 degrés à 1 600 degrés, mesurés au moment du plein feu, effectuait deux tournées par mois, à peu près. Lorsque les passages de flammes soumis à cette température et à l'action des cendres étaient construits avec des briques extra-réfractaires à 33 0/0 d'alumine, leur durée maxima n'excédait pas huit mois, au bout desquels ces bri-

ques n'existaient pour ainsi dire plus, et, rongées qu'elles étaient par les cendres des charbons employés, les sections de passages de flammes, aux gueulards, n'avaient plus de forme.

Ces passages furent refaits complètement avec des briques pleines en carborundum ; depuis trois ans et demi, les fours ont fonctionné de la même manière, la température atteinte a été aussi élevée, et ces passages de flammes ont toujours leurs sections primitives, nettes, sans traces de fusion ; mais l'ensemble est revêtu de cet émail brun, dont il a été question, il y a quelques instants, sur lequel viennent se déposer, fondre et couler, sans plus jamais l'attaquer, les cendres nouvelles, apportées par chaque tournée du four.

Inutile d'ajouter. que malgré les dépenses de premier établissement, le bénéfice a été sensible, puisqu'à l'heure actuelle, ce garnissage n'est pas encore usé, bien qu'ayant fait cinq à six fois plus de temps environ que l'ancien tout en supprimant pour l'ensemble des 16 foyers de la batterie, 80 démolitions, 80 reconstructions, 80 achats de matériaux, 80 pertes de temps.

Un dernier exemple permettra de se rendre compte de la valeur de ce produit, quand on ne lui demande que ce qu'il est susceptible de donner.

Un four à creuset (*fig. 6, pl. 172*), d'une capacité de 40 kg, chauffé au coke de métallurgie, avec une pression de vent de 0,50 cm d'eau et dans lequel nous avons effectué des recherches sur des alliages ferreux, dont nous parlerons tout à l'heure, atteignait une température de 1 600 degrés à 1 650 degrés, mesurés dans la région la plus chaude. La durée des garnissages en briques à « angles », selon l'intensité avec laquelle le feu était poussé, oscillait entre sept et neuf jours, au bout desquels la section du four n'avait plus de formes. Ces briques d'argiles réfractaires furent alors remplacées par des briques pleines en carborundum ; dès lors, inutile de se préoccuper des garnissages. Au moment où nous avons cessé nos recherches avec ce genre de four, nous avons calculé qu'en trois années ils avaient fait un service treize fois plus long que les meilleurs produits réfractaires. En effet, à ce moment la section du four était toujours carrée, les briques entières: il existait seulement sur chaque face, et dans la zone la plus chaude, une légère usure incurvée, de 5 à 10 mm de flèche.

Ces exemples prouvent combien est grande l'importance de certains petits faits accessoires, dont parfois, le rôle est à peine

posent sansprofit aucun pour le bain ; c'est, d'ailleurs, pour cette dernière raison qu'on ne peut ajouter le carborundum directement dans les fours Martin.

Ce mode opératoire décrit plus haut tendant même à remplacer l'addition du ferro-silicium dans les bains métalliques fondus, alors qu'ils sont encore dans les fours métallurgiques, voici quelques exemples des proportions comparatives de carborundum et de ferro-silicium à 50 0/0 qu'il est nécessaire d'employer pour une charge de 10 t d'acier, selon la qualité d'acier que l'on veut obtenir :

1° Pour de l'acier à 60 kg de résistance :

Ferro-silicium à 50 0/0. . .	40 kg à 30 f 0/0 kg. .	12 f
Carborundum à 66 0/0 Si. .	20 kg à 70 f —	14 f

2° Pour de l'acier à 45-50 kg de résistance :

Ferro-silicium à 50 0/0. . .	50 kg à 30 f 0/0 kg. .	15 f
Carborundum à 66 0/0 Si. .	26 kg à 70 f —	18,20

3° Enfin pour de l'acier coulé pour moulages :

Ferro-silicium à 50 0/0. . .	50 kg à 30 f 0/0 kg. .	15 f
Carborundum à 66 0/0 Si. .	30 kg à 70 f —	21 f

Ce procédé métallurgique, bien qu'il soit d'un prix de revient plus élevé que celui au ferro-silicium, semble avoir été favorablement accueilli et adopté, principalement par les petites fonderies. Il est, en effet, moins délicat et plus souple que le procédé au ferro-silicium, puisqu'il permet avec une même coulée d'obtenir des métaux, des alliages de propriétés différentes, selon les quantités de carborundum ajoutées dans chaque poche de coulée.

Son seul inconvénient est l'introduction d'un peu de carbone.

Dans un autre ordre d'idées, mais également à un point de vue métallurgique, le docteur allemand B. Neumann constata en 1900 qu'en chauffant du carborundum avec de l'oxyde de cuivre et un fondant très alcalin, il obtenait du cuivre métallique, d'après la réaction :

$$SiC + 3\,CuO = 3Cu + SiO^2 + CO.$$

Il signale cette réaction uniquement à un point de vue documentaire, ajoutant qu'elle n'est pas susceptible d'applications industrielles, du fait même du prix élevé du carborundum.

Depuis huit ans, le prix de vente de ces corps a diminué et la

réaction reste tout de même inintéressante pour l'industrie parce que, en effet, le carborundum est entièrement détruit, transformé qu'il est en silice et oxyde de carbone.

Or, fin 1903, commencement de 1904, en étudiant les propriétés chimiques du carborundum, nous avons pensé qu'il était possible de faire réagir, en s'y prenant d'une certaine manière, les oxydes métalliques sur le carborundum, de façon à ne détruire que la partie carbonée de la molécule de carborundum. Cela à seule fin de récupérer l'élément de valeur, le silicium, en le faisant entrer, du même coup, dans une combinaison métallique.

De cette manière, la molécule de carborundum n'était pas entièrement détruite, comme dans la réaction de Neumann, que nous ne connaissions d'ailleurs pas, au début de nos travaux.

Différents essais, que nous avons effectués, confirmèrent le bien fondé de cette théorie et nous permirent de préparer facilement des combinaisons et des alliages de silicium et de métaux, d'après la réaction nouvelle suivante :

$$SiC + MO = SiM + CO.$$

Cette réaction type, fort simple, correspond, par la double décomposition qu'elle représente, au dégagement maximum d'énergie et s'effectue, par suite, à des températures relativement basses, que nous avons pu mesurer, toujours grâce au four de laboratoire déjà décrit, et que nous avons trouvées égales :

A 800° dans le cas du mélange oxyde cuivre et carborundum.
A 1 350° dans le cas du mélange d'oxyde de fer et carborundum.
A 1 350° — d'oxyde de nickel et carbor.
A 1 360° — d'oxyde de manganèse et carbor.
A 1 370° — d'oxyde de chrome et carbor.

Il n'est pas indispensable d'effectuer cette réaction avec un protoxyde du type MO, nous avons pu la reproduire en nous servant d'oxydes naturels comme la pyrolusite, l'acerdèse pour le silicium-manganèse, comme la chromite pour le chrome-silicium, etc., qui correspondent presque tous, en général, à des sesquioxyde du type M^2O^3 ou à des bioxydes du type MO^2 : dans ce cas, il faut simplement prendre soin d'ajouter, au mélange « super-oxyde métallique carborundum », la quantité voulue d'une matière carbonée, pour ramener, par une réduction préliminaire, ce dernier au type de protoxyde MO qui, lui, réagit alors sur le carborundum à une température plus élevée en donnant l'alliage métal-silicium cherché. Ces deux opérations : réduction préli-

minaire et réaction s'effectuent ainsi en une seule et même chauffe.

Ce nouveau procédé métallurgique est très souple, puisque, pour un même poids de carborundum, en faisant varier seulement les proportions d'oxyde métallique et de matière carbonée, nous avons pu fabriquer des quantités variables des alliages suivants :

1° Silicium-Cuivre :

avec des teneurs en silicium allant de 3,23 à 12,26,
et des teneurs en carbone inférieures à 0,05 0/0 ;

2° Silicium-Fer :

avec toujours en silicium allant de 15,84 à 32 0/0,
et des teneurs en carbone inférieures à 0,29 0/0 ;

3° Silicium-Nickel :

avec des teneurs en silicium allant de 7,07 à 33, 50 0/0,
et des teneurs en carbone inférieures à 0,55 0/0 ;

4° Silicium-Manganèse :

avec des teneurs en silicium allant de 9,94 à 26,22 0/0,
et en carbone de 0,6 0/0 maximum ;

5° Silicium-Chrome :

avec des teneurs en silicium allant de 10,81 à 20,84,
et des teneurs en carbone décroissant de 6,65 à 0,89 0/0 ;

6° Silicium-Fer-Chrome :

avec des teneurs en silicium allant de	0,95 à 8,27,
des teneurs en chrome de	45,90 à 45,40,
des teneurs en fer	46,53 à 37,87,
en carbone	6,67 à 4,04 et 2,12.

On remarquera que, sauf avec des métaux comme le chrome, susceptible de donner des carbures, la teneur en carbone des alliages obtenus est très faible. Quant à la proportion de silicium extrait du carborundum et récupéré, elle atteint selon les oxydes traités jusqu'à 99 0/0; le rendement est donc des meilleurs.

Nous avons pu reproduire ainsi, sans l'emploi du four électrique, à des températures ne dépassant pas 1 500 à 1 600 degrés, des lingots de quelques-uns des alliages préparés actuellement, au four électrique, pour les besoins de la métallurgie, qui les incorpore dans ses bains d'acier, comme on sait, afin de leur conférer des propriétés particulières, après le coulage et le refroidissement.

Ce point étant acquis, nous nous sommes souvenu de la facilité avec laquelle ces réactions s'effectuent dès 1 350 degrés. Nous avons eu l'idée, alors, de supprimer le chauffage spécial, la fusion particulière des mélanges d'oxydes et de carborundum, destinée, à produire les alliages dont la liste vient d'être donnée, voulant par là, arriver à les produire, en une seule opération, au contact même du bain d'acier fondu dans lequel ils devaient s'incorporer, mais de telle manière que l'acier fondu ne puisse réagir ni sur l'oxyde, ni sur le carborundum.

Nous avons pu, ainsi, transformer un acier à essieux de wagon, en un acier chromé, d'une dureté remarquable, en partant simplement d'un peu de carborundum et de minerai de chrome ou chromite en poudre.

Voulant aller plus loin encore, nous avons pensé alors à la possibilité de transformer, toujours en une seule opération, un bain de fonte ordinaire en un acier spécial, ne contenant au minimum que ce qu'il avait fallu de silicium pour précipiter le carbone et contenant, en même temps, soit le nickel, soit le chrome, soit le manganèse, etc., destiné à lui conférer ses qualités d'acier spécial.

Nous avons obtenu des résultats extrêmement satisfaisants et pu fabriquer ainsi, très rapidement, plusieurs lingots de 4 à 5 kg d'acier spéciaux ternaires : fer-silicium-carbone et quaternaires : fer-silicium-manganèse-carbone par exemple dont nous poursuivons en ce moment l'étude.

Pour résumer ce travail sur le carborundum, nous rappellerons donc en quelques mots, qu'à l'heure actuelle, le carborundum cristallisé a trouvé des applications industrielles intéressantes et productives dans la branche des produits abrasifs; que ses débuts dans l'industrie des produits réfractaires et dans leur emploi sont pleins de promesses dont la réalisation ne dépend que de la demande des consommateurs et que, dans le splendide domaine de la métallurgie, où il est employé pour un usage bien déterminé, le carborundum vient, de plus, de se révéler à l'industrie, pour un usage nouveau, basé sur des propriétés récemment découvertes devant lesquelles semble s'ouvrir un vaste champ d'applications; qu'enfin, au point de vue électrique, les propriétés du carborundum restent entièrement à étudier et ses applications industrielles à trouver.

ANNEXE

I

Notes complémentaires.

(1) Nous rappellerons que dès le mois d'octobre 1893, deux Ingénieurs français, MM. Lucien Périssé et le baron René de Batz, firent connaître en France le produit tout récent qu'était alors le carborundum; ils furent, d'ailleurs, les premiers à en rapporter, d'Amérique, des spécimens et à s'efforcer d'en faire adopter les précieuses qualités abrasives par les industriels français; en 1899, ils firent don au Conservatoire des Arts et Métiers de leur collection de poudres et de meules en carborundum.

(2) En Allemagne, une usine modèle utilisant une puissance hydro-électrique de 3000 ch vient de s'établir tout récemment, à Badisch-Rheinfelden, pour se consacrer uniquement à la fabrication du carborundum, qu'elle met déjà en vente sous le nom de « carbosilite » et dont elle fabrique des meules et deux autres produits abrasifs.

II

Bibliographie.

Chaque « référence » de cette bibliographie comprend le nom de l'auteur, le titre du périodique dans lequel l'article est paru, le numéro du tome et l'année.

Le classement des références correspond, autant que possible, aux grandes divisions du sujet traité.

Colson. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 94, 1882.
Schied. — Zeitschrift für Electrochemie : 6, 1900.
Schied. — Electrical World and Engineering : 46, 1905.
Moissan. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 139, 1904.
Moissan. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 140, 1905.
Kunz. — Annals of the New-York Academy of Sciences : Meeting of January, 9, 1905.
Schutzenberger. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 114, 1892.
Acheson. — The Chemical News and J[al] of Physical Science, London : 68, 1893.
Moissan. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 117, 1893.
Moissan. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 125, 1893.
Fitzgerald. — Journal of the Franklin Institute : 1896.
Moissan. — « Le Four Électrique » : 1897.
Becker. — Manuel d'Électrochimie et Électrométallurgie : 1898.
Wagner, Fischer et Gautier. — Traité de Chimie Industrielle : I, 1903.
Zeitschrift für Electrochemie : I, 1905.

Kershaw. — The Engineering Magazine : oct.-nov. 1907.
Escard. — Revue Électrique : 77, 1907.
Journal du Four Électrique et de l'Électrolyse : 247, 1907.
Journal du Four Électrique et de l'Électrolyse : 269, 1907.
Revue de Métallurgie : fév. 1908.
Revue de Métallurgie : mars 1908.
Moissan. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 117, 1893.
Muhlhauser. — Zeitschrift für Anörganische Chemie, Hambourg : 5, 1893-94.
Schlesinger. — Werkstatts Tehcnik : sept.-oct. 1907.
Journal du Four Électrique et de l'Électrolyse : 240, 1907.
Labour. — Procès-verbaux du Conservatoire Arts et Métiers : nº 2720, nov. 1905.
Labour. — Procès-verbaux de l'École des Ponts et Chaussées : rég. E., nº 3617 oct. 1905.
Labour. — Procès-verbaux de la Compagnie du Métropolitain : nov. 1906.
Wologdine. — Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale : 110, 6, 1908.
Mac-Adams. — Bras World : août 1907.
Revue Électrique : mai 1907.
Éclairage Électrique : décembre 1906.
Electrical World and Engineering : 48, 24, 1906.
Richards, Stüll et Brink. — Journal of Physical Chemistry : 61, 1907.
Tucker et Lampen. — Journal of the American Chemical Society : 28, 7, 1906.
Acheson. — Electrik Zeitung : 6, 1900.
Acheson. — Journal of the American Chemical Society : 23, 1901.
Acheson. — Journal of the Franklin Institute : 147, 1901.
Otto et Muhlhauser. — Chemiker Zeitung : 26, 1902.
Fitzgerald. — Journal of the Society of the Chemical Industry : 20, 1901.
Fitzgerald. — American Journal of Sciences and Arts : août 1907.
Schied. — Chemisches Central-Blatt : 1, 1900.
Potter. — Transactions of the American Electrochemical Society : XII, nov. 1907.
Leduc. — Revue des Matériaux de Constructions et Travaux publics : 9 janvier 1906.
Neumann. — Chemiker Zeitung : 93, 1900.
L. Baraduc-Muller. — Documents non publiés, concernant des recherches et des travaux personnels effectués de 1903 à 1908 sur le carborundum et sur ses utilisations.

TABLE DES MATIÈRES

APPLICATION DU MOTEUR DIESEL

A LA NAVIGATION

PAR

M. A. BOCHET

Dès 1897, le moteur Diesel a été l'objet d'un intéressant mémoire publié par notre collègue, M. Mallet, dans le Bulletin de la Société.

Il en a été question à plusieurs reprises au cours des discussions relatives aux moteurs thermiques, et j'ai présenté moi-même une comparaison entre ce système et les divers moteurs à explosion en recourant à l'épure entropique lors de notre séance du 20 avril 1906.

Je me contenterai donc de rappeler sommairement le principe de cette machine représentée par les figures 1 et 2. C'est une machine verticale à simple effet et à quatre temps.

Au premier temps, le piston descendant aspire par la soupape d'admission de l'air pur.

En remontant, durant le second temps, le piston comprime cet air jusqu'à la pression de 30 kg par centimètre carré, ce qui porte sa température à 5 ou 600 degrés, c'est-à-dire bien au-dessus de celle nécessaire pour l'inflammation du combustible.

Dès le début du troisième temps, ce combustible est injecté par l'ajutage central dans l'air ainsi échauffé et brûle au fur et à mesure de son introduction pendant une partie de la course du piston, puis après cette combustion graduelle, les gaz continuent à se détendre jusqu'à la fin de cette course motrice.

Enfin, au quatrième temps, les gaz de la combustion sont rejetés par la soupape d'échappement sous l'action du piston qui remonte.

Le liquide combustible, refoulé par une pompe, est pulvérisé par de l'air comprimé, qui pénètre en même temps que lui dès

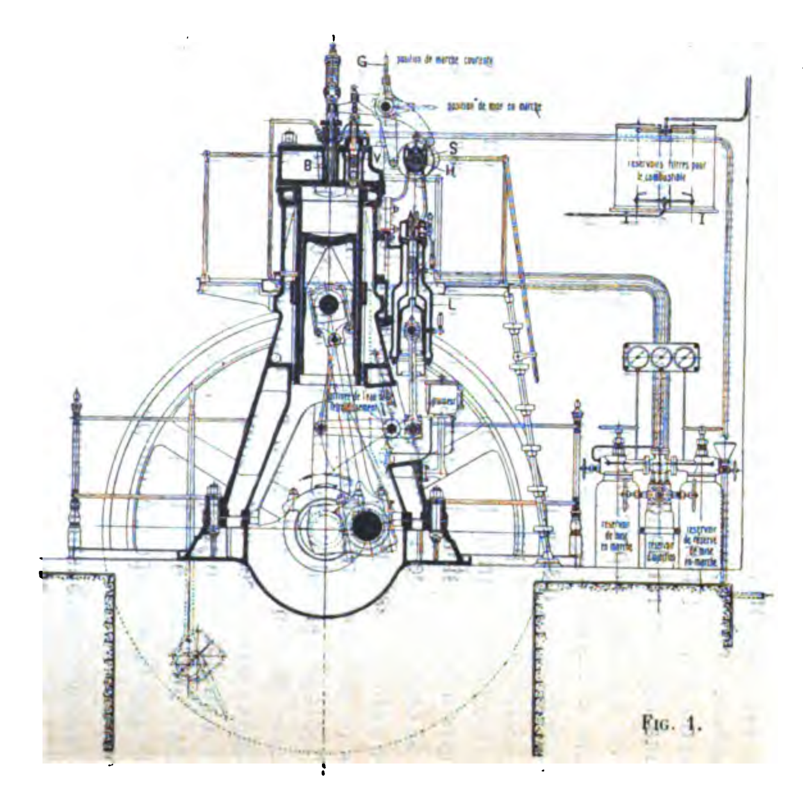


Fig. 1.

Fig. 2.

que l'aiguille qui ferme l'ajutage central est soulevée par le mécanisme de distribution.

Cet air, servant à l'insufflation, est comprimé à une pression supérieure à celle qui se produit dans le cylindre moteur, au moyen d'un compresseur actionné par la machine.

Ce compresseur charge en même temps des réservoirs qui servent au lancement du moteur, ainsi qu'au renversement du sens de marche.

Après avoir fait ressortir l'impossibilité de réaliser dans une telle machine un cycle de Carnot, M. Diesel avait proposé un cycle approché, en supprimant la compression isothermique que comporte ce premier cycle.

La compression isothermique présentait, en outre de sa difficulté de réalisation, l'insurmontable inconvénient d'exiger des pressions énormes.

Le cycle ainsi préconisé par l'inventeur est représenté par la figure 3. Il est limité par une courbe de combustion isothermique bc d'équation

$$pv = C$$

une courbe de détente adiabatique cd

$$pv^{\gamma} = K$$

et une courbe de compression adiabatique dab

$$pv^{\gamma} = K'$$

L'hyperbole équilatère correspondant à la combustion, ainsi que les deux autres courbes hyperboliques, ont toutes les trois les axes comme asymptotes. Il en résulte donc une forme très effilée pour les extrémités b et d du diagramme.

Pour recueillir le travail correspondant à la surface totale de ce diagramme, il faudrait donc pousser la compression et la détente jusqu'à des limites inadmissibles en pratique, tant au point de vue de la construction du moteur que de sa bonne utilisation.

Dans son rapport au Congrès international de Mécanique appliquée de 1900, M. Diesel a très bien fait ressortir cette nécessité de rectifier, dans l'application, le cycle théorique auquel ses études l'avaient conduit.

Après avoir signalé l'obligation de limiter convenablement la détente en d', comme le montre la figure 3, l'inventeur dit qu'il

fallut jeter un pont $b''e'$ entre la compression actuellement réalisable et la combustion isothermique correspondant à une compression beaucoup plus élevée.

C'est en suivant ces principes qu'il a été possible de régler la combustion dans les moteurs Diesel, de manière à atteindre des ordonnées moyennes de 9 kg sans dépasser 35 kg de pression.

Le point à la fois le plus important et le plus délicat de la marche de ce genre de moteur est le réglage de la combustion, qui doit s'effectuer correctement en un temps très court.

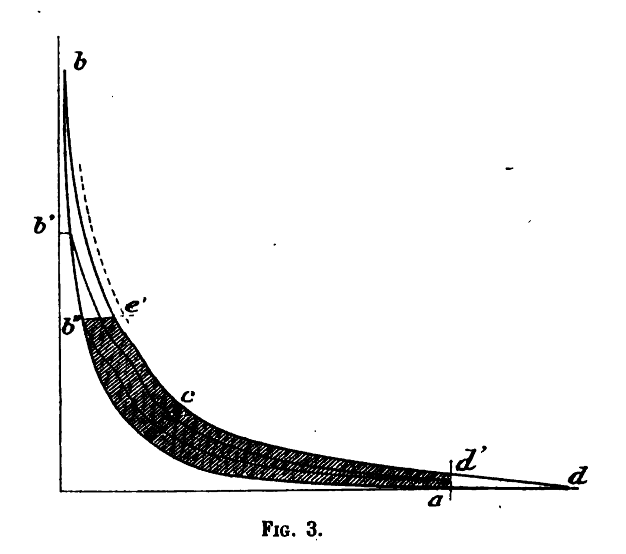


Fig. 3.

Pour réaliser pratiquement ce régime, il faut régler l'ouverture graduelle de l'aiguille d'injection suivant des lois qu'une expérimentation minutieuse a permis de fixer pour chaque cas.

L'allure des diagrammes de tous les moteurs Diesel actuels est celle représentée sur la figure 4.

Le maximum de pression surpasse de quelques kilogrammes la compression de l'air et la courbe de combustion s'arrondit vers le haut, ce qui correspond à une surélévation très notable de la température dépassant 1 800 degrés pendant la combustion et non plus à une courbe isothermique.

Le principe du moteur Diesel permet, de toute évidence, de réaliser dans d'excellentes conditions, des admissions variables.

C'est aussi uniquement en réglant pour chaque combustion la quantité du combustible injecté, que la puissance du moteur est réglée.

La figure 4 montre l'effet de ces admissions variables proportionnant la surface des diagrammes à la puissance à fournir à chaque instant.

Cette facilité du réglage de l'admission permet de régler avec

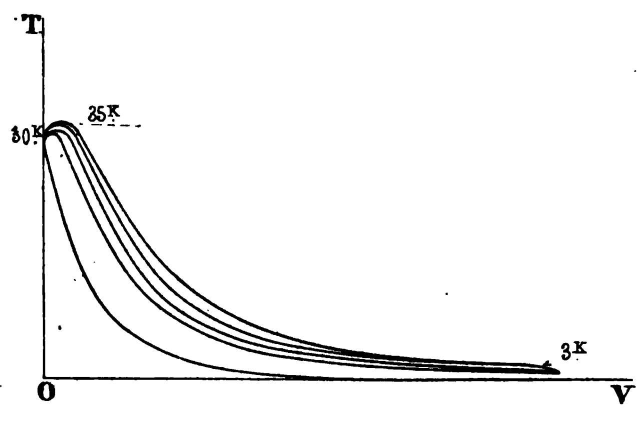


Fig. 4.

la plus grande précision l'allure de la machine, soit à la main, soit au moyen d'un régulateur.

Les combustions se faisant toujours régulièrement, la marche est d'une remarquable douceur à tous les régimes.

Le mode de fonctionnement tout particulier du moteur Diesel n'implique pas la constitution d'un mélange détonant correctement dosé, comme l'exigent les moteurs à explosion.

L'allumage et la combustion sont parfaitement assurés par l'injection du combustible, très divisé, dans une masse d'air comprimée dont la température est très élevée.

Aucune des difficultés de carburation et d'allumage qui se présentent dans les machines à explosion n'existe avec le système Diesel.

Il est donc évident que ce genre de moteur permet d'employer, dans les meilleures conditions, des combustibles absolument inutilisables pour les autres machines.

C'est ainsi qu'il a été possible de faire fonctionner le moteur Diesel avec les combustibles liquides les plus variés, avec le gaz et même avec du poussier de charbon.

Toutefois, ce sont les huiles lourdes qui conviennent le mieux au moteur Diesel et leur emploi s'est généralisé dans la pratique.

Nous citerons particulièrement les pétroles ordinaires d'une densité de 0,800 au moins ; les produits lourds résultant de la distillation des pétroles, tels que l'huile solaire, appelée aussi huile à gaz, d'une densité de 0,880 à 0,900, les mazouts ou naftetine, l'huile de paraffine, les huiles lourdes provenant de là distillation des goudrons, etc.

Plusieurs qualités de ces huiles sont normalement à l'état visqueux et se solidifient même, pour peu que la température s'abaisse. En ce cas, les machines sont pourvues d'appareils de réchauffage du combustible.

C'est dans ces conditions que fonctionnent les groupes électrogènes du type représenté par la figure 1 *(Pl. 173)*, qui ont été établis pour la marine italienne qui emploie la naftetine. Ces ensembles produisent 100 à 120 kw à la vitesse de 500 tours par minute.

La Société Française des Moteurs Diesel a donné grande satisfaction à sa clientèle d'Algérie en utilisant les pétroles très lourds et très visqueux du gisement d'Aïn-Zeft, dans le département d'Oran.

Le premier moteur Diesel a été construit en 1893. Cette machine, que représente la figure 2 *(Pl. 173)*, ne comportait pas de circulation d'eau autour du cylindre.

La mise au point du système a exigé plusieurs années de travail assidu.

Mais ces efforts ont été couronnés d'un entier succès.

Les résultats pratiques obtenus en 1897 avec ce système de moteur ont, en effet, causé une très vive impression et ont eu un retentissement en rapport avec leur importance.

Les rendements hermiques constatés dès cette époque plaçaient le moteur Diesel bien au-dessus de toutes les machines thermiques connues.

Un moteur de 20 chevaux a donné le cheval-heure avec une consommation de 240 grammes de pétrole à pleine charge et 277 grammes à demi-charge, atteignant ainsi un rendement thermique dépassant 25 0/0 à pleine charge et 22 0/0 à demi-charge, résultats qui, depuis lors, ont été très notablement surpassés d'ailleurs.

Il peut sembler surprenant que de telles qualités économiques n'aient pas provoqué, autour de nous, un développement important des applications du moteur Diesel. Il faut en rechercher uniquement la cause dans notre régime fiscal qui surcharge

de droits prohibitifs les combustibles utilisables pour le moteur Diesel.

A l'étranger, par contre, des dispositions fiscales plus judicieuses ont permis à l'industrie de bénéficier du progrès considérable réalisé par le système Diesel.

Pour en donner une idée, il convient de citer le développement de la construction du moteur Diesel.

La Maschinenfabrik d'Augsbourg, où les premiers essais de ce système ont été exécutés et où la mise au point définitive a été réalisée avec une persévérance et une habileté méritoires, a construit, à elle seule, en dix ans, 1.400 moteurs représentant une puissance effective de 125.000 chevaux.

La figure 3 (*Pl. 173*) représente un moteur fixe de 800 chevaux construit dans ces ateliers.

Cette machine est à quatre cylindres ayant 600^{mm} de diamètre intérieur ; la course des pistons est de 900^{mm} et la vitesse angulaire normale de 140 tours par minute.

Les dimensions du moteur sont :

5,50^{m} de hauteur ;
10,60^{m} de longueur ;
4,60^{m} de largeur ;
Le poids total est de 170.000 kg.

La figure 4 (*Pl. 173*) représente la station centrale des tramways de Kiew, où fonctionnent six moteurs de 400 chevaux, chacun à quatre cylindres, construits par la même Société.

Les meilleurs ateliers de construction mécanique, en Russie, en Autriche, en Suisse, en Belgique, en Suède, se sont adonnés à ce genre de construction et il convient de citer entre autres les ateliers Sulzer frères à Winterthur, Carels à Gand, Nobel à St-Pétersbourg.

Je peux ajouter que ce succès industriel ne fait que se développer chaque jour.

Le moteur Diesel est, par suite, bien connu ; il a fait ses preuves. Je ne viens donc pas vous entretenir d'une nouveauté sensationnelle, mais seulement de l'adaptation de cette remarquable machine aux besoins de la navigation.

L'accomplissement de cette tâche modeste a cependant coûté assez d'efforts et donné des résultats assez importants pour mériter de retenir votre attention.

Dès les débuts du moteur Diesel, nous avons été frappés des avantages qu'il offrait pour la navigation.

La très faible consommation de cette machine réduit dans une proportion considérable le poids du combustible embarqué et permet de donner aux bâtiments, même de faible tonnage, un rayon d'action très étendu.

La suppression des chaudières évite une foule de sujétions des plus gênantes et diminue de beaucoup l'encombrement de la machinerie.

L'alimentation absolument automatique de la machine par un combustible liquide permet aussi de limiter à un nombre très faible le personnel affecté aux machines.

La suppression des foyers, des cheminées et des longues tuyauteries sous pression des machines à vapeur, écarte de graves risques et présente particulièrement au point de vue des bâtiments militaires, des avantages considérables.

L'économie de poids et de place réalisée, le dégagement du pont permettent d'accroître la puissance et l'efficacité de l'artillerie en facilitant en même temps tous les services. C'est à bord des bateaux que les qualités particulières du moteur Diesel sont certainement le plus appréciables. La simplicité de cette machine, sa sécurité extrême qui résulte de l'emploi d'huiles lourdes, difficilement inflammables, utilisées sans formation préalable de mélange détonnant, mais arrivant au contraire à l'état liquide jusque dans le cylindre, l'absence de dispositifs compliqués pour l'allumage, la combustion parfaite qui évite toute trace de fumée à l'évacuation sont des qualités trop évidentes pour qu'il y ait lieu d'y insister.

Par contre, ces machines n'ont pas l'élégance des turbines pour la propulsion des navires. L'emploi de machines à mouvements alternatifs avec la complication d'articulations qui en résulte, peut sembler contraire au progrès. Mais les motifs qui imposent ces dispositions aux machines à combustion sont connus ; elles sont trop largement rachetées par les avantages que je viens d'énumérer pour qu'il soit juste de les critiquer en ce cas.

Il convient d'ajouter aussi que les remarquables perfectionnements de la construction mécanique, dus pour beaucoup au développement des automobiles et l'application aux machines puissantes du graissage sous pression, ont atténué dans la plus large mesure les inconvénients des machines alternatives.

Les qualités du moteur Diesel sont évidemment aussi appré-

ciables sur les bâtiments de petit que de fort tonnage, pour les machines motrices et les auxiliaires.

Nous avons signalé, il y a longtemps déjà, l'intérêt de la combinaison du moteur Diesel avec les turbines à vapeur pour donner un grand rayon d'action à l'allure de route et une grande vitesse au combat pour certains types de navires militaires.

Nos travaux ont été dirigés vers ces diverses applications, mais en raison de nos occupations spéciales, nos efforts ont porté tout d'abord vers l'adaptation du moteur Diesel au service des sous-marins.

Avant d'aboutir, il a fallu vaincre bien des résistances et écarter des préventions d'ailleurs explicables pour le cas d'un problème aussi délicat.

Notre foi robuste fut heureusement partagée par M. l'Ingénieur en chef Maugas, qui eut la clairvoyance de bien juger l'avantage que pouvait apporter à la solution du sous-marin à grand rayon d'action, une machine ayant les qualités du moteur Diesel et qui n'hésita pas à adopter ce système,

Les magnifiques résultats atteints pour la première fois par les sous-marins construits sur les plans de cet habile ingénieur, ont été la juste récompense de sa détermination hardie.

Nos collègues se rappellent, en effet, les raids sensationnels exécutés par les bâtiments en question. Le premier fit par ses propres moyens le trajet de Cherbourg-Groix-Cherbourg, soit 550 milles, en franchissant deux fois le chenal du Four et le Raz de Sein.

Le second bateau identique entré en service a surpassé son aîné en parcourant 780 milles, également d'une traite, sans aucun arrêt, sur le trajet Cherbourg-Brest-Dunkerque-Cherbourg, et il aurait pu en franchir bien plus du double sans se ravitailler.

La figure 5 (*Pl. 173*) représente l'un de ces bateaux.

Une large part du succès revient aussi à M l'Ingénieur de la Marine Radiguer qui a dirigé la construction de ces bateaux et à leurs commandants, MM. les lieutenants de vaisseau Daguerre, Glorieux, Lecoq et Nivet qui, en outre de l'habileté professionnelle dont ils ont fait preuve dans le maniement de ces engins nouveaux à la mer, ont apporté la plus utile collaboration à la mise au point des moteurs pour le service à bord.

Aujourd'hui, le moteur Diesel est adopté pour tous les types de bâtiments sous-marins. Un grand nombre de submersibles

du modèle créé par M. l'Ingénieur en chef Laubeuf, comportent ce système.

Après une première application à bord d'un bateau de rivière que j'ai eu l'honneur de signaler en 1903 à la Société, l'adaptation du moteur Diesel aux besoins de la navigation a été poursuivie à bord des sous-marins de M. Maugas.

Nous avions des données fort complètes sur les moteurs Diesel construits en grand nombre déjà pour les usages industriels. Il a fallu cependant bien du temps et des efforts pour créer les modèles puissants, légers et, par suite, à grande vitesse que nécessitait l'emploi sur les bateaux.

Le succès a d'ailleurs dépassé toutes les espérances. Le tableau ci-dessous donne en effet la comparaison entre les résultats fixés et ceux effectivement obtenus sur une série de douze machines du modèle représenté par la figure 6 (*Pl. 173*).

La figure 7 (*Pl. 173*) montre une de ces machines en essai à l'atelier.

	Prévisions	Résultats obtenus
Maximum de puissance en chevaux effectifs sur l'arbre.	300 ch à 340 t. p. m.	400 ch à 340 t. p. m.
Consommation de pétrole ordinaire par cheval effectif sur l'arbre et par heure aux puissances de :		
395 ch à 340 t. p. m.	»	151 gr
300 ch à 340 t. p. m.	250 gr	180 gr
75 ch à 325 t. p. m.	325 gr	193 gr
Rendements thermiques à :		
395 ch		42 %
300 ch		35,5 %
75 ch		32,5 %

Les gaz entraînent à l'échappement environ 25 0/0 de la chaleur totale fournie par le combustible et à peu près 35 0/0 en sont cédés à l'eau de refroidissement.

Il convient de rapprocher de ces rendements celui de la machine à vapeur qui, dans les meilleures conditions, avec la triple expansion, atteint à peine un rendement thermique de 13 %. Malgré la différence de prix des combustibles généralement employés, l'avantage du moteur Diesel se conçoit aisément. Il devient considérable lorsque la comparaison s'établit entre ce dernier moteur et une machine à vapeur chauffée au pétrole, ce qui est le cas aujourd'hui pour beaucoup de bâtiments de combat.

Les chiffres du tableau qui précède résultent de longs et minutieux essais de réception exécutés en usine.

Chaque machine a subi des épreuves de 6 heures de marche à pleine charge pendant la durée totale desquelles la consommation a été rigoureusement contrôlée.

La constance remarquable des chiffres ainsi relevés donne toute certitude pour les résultats constatés.

Il est fort important d'ajouter que la consommation si remarquablement réduite réalisée en usine s'est retrouvée non seulement au cours des épreuves de recette à la mer, mais encore en service courant.

C'est, en effet, une très grande qualité du moteur Diesel, par rapport à la machine à vapeur, d'écarter toute influence du mode de conduite sur les résultats du fonctionnement. L'alimentation et le réglage de la machine étant tout à fait automatiques, le personnel n'a aucune influence du genre de celle de la conduite de la chauffe pour les moteurs à vapeur.

Le succès de ces machines toutes spéciales fait le plus grand honneur aux ateliers Sautter Harlé et C[ie] où elles ont été étudiées et qui ont exécuté les six premières. Je tiens à citer tout particulièrement à cette occasion notre collègue M. Ducher, Ingénieur de ces ateliers et mon principal collaborateur.

La Société française des Moteurs Diesel a construit six machines identiques dans son atelier de Longeville, sous l'habile direction de notre collègue M. Dickhoff.

Depuis lors, la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire et la Société des Chantiers et Ateliers Augustin Normand ont également entrepris la construction du moteur Diesel qui a pris très rapidement un développement considérable pour les applications à la marine de guerre.

Le nombre des machines de ce système livrées actuellement à la marine française ou en exécution pour elle, s'élève à quarante, représentant une puissance de 14 800 chevaux.

Les photographies qui accompagnent ce mémoire représentent un certain nombre des types exécutés. En outre de ceux déjà mentionnés, il y a lieu de citer le moteur de sous-marin représenté par la figure 8 (*Pl. 173*) et le moteur de vedette reproduit sur la figure 9 (*Pl. 173*).

Le premier comporte six cylindres et peut développer en service continu 700 ch à la vitesse de 400 tours par minute. Ses dimensions d'encombrement sont : hauteur, 2,750 m; longueur,

6,300 m; largeur, 1,400 m. Il pèse 25000 kg en ordre de marche. Le second, à quatre cylindres, tout en acier, donne 80 ch à 500 tours par minute.

Pour compléter ces renseignements, nous décrirons l'un des types les plus récents exécutés pour l'application à la navigation sous-marine.

Ce modèle, représenté par les figures 10, 11 et 12 *(Pl. 173)*, développe normalement 420 ch effectifs sur l'arbre en tournant à la vitesse de 400 tours par minute.

Les manœuvres de mise en marche, renversement de marche et réglage de vitesse s'effectuent facilement, avec sûreté et précision, au moyen d'organes concentrés sous la main du mécanicien de quart.

La machine comporte six cylindres verticaux E.

Les pistons forment coulisseaux et les bielles attaquent l'arbre de couche sur des manetons calés à 120 degrés les uns des autres.

A l'une des extrémités du moteur, se trouve un compresseur à trois phases F fournissant l'air comprimé nécessaire aux manœuvres et au fonctionnement de la machine.

Les soupapes de distribution sont montées sur les fonds de cylindres.

Au centre, se trouve l'aiguille d'injection du pétrole.

A droite et à gauche, les soupapes d'admission d'air et d'évacuation des gaz brûlés.

Deux soupapes plus petites sont utilisées pour les manœuvres à l'air comprimé.

Toutes ces soupapes sont attaquées par des leviers oscillant autour d'un axe supporté par le fond de cylindre. Ces leviers sont commandés, au moyen de tiges verticales, par les cames de l'arbre de distribution qui est enfermé dans le carter.

Ce carter, formant bâti, est en acier coulé ; il constitue un socle très rigide et très résistant quoique d'un poids réduit.

Les organes en mouvement sont absolument abrités dans le carter complètement clos.

Le graissage se fait sous pression, au moyen d'une pompe spéciale.

Un filtre placé sur le refoulement de la pompe, évite l'entraînement par l'huile de tout corps étranger dans les organes du moteur, et un manomètre, placé au delà de ce filtre, permet de contrôler le fonctionnement du graissage.

A la partie supérieure du moteur, se trouvent disposées deux tubulures : l'une, reliée aux prises d'air des cylindres, amène l'air frais au moteur ; l'autre, avec double paroi pour la circulation de l'eau, constitue le collecteur d'échappement. Toutes les parties de la machine où circulent les gaz, se trouvent protégées par une enveloppe du même genre, à circulation d'eau, ce qui évite l'élévation de la température dans le compartiment de la machine.

Au centre du moteur sont réunis les organes de distribution du pétrole, ceux servant à la manœuvre et au contrôle.

Les six pompes à pétrole correspondant respectivement aux six cylindres, sont groupées sur un support commun G qui forme en même temps carter de protection pour tous les organes de ces pompes.

Au-dessus de ce support, se trouve l'arbre de commande des pompes, qui est actionné par une transmission qui commande en même temps un tachymètre et un régulateur de vitesse ayant pour objet de limiter l'allure de la machine au maximum fixé.

Un volant A permet de supprimer la compression dans les cylindres, pour le cas où on désire entraîner le moteur thermique par les machines électriques du bord. Le volant B manœuvre la mise en marche de la machine à l'air comprimé.

Le levier C commande le renversement de marche, et c'est au moyen de la manette de réglage D que l'allure du moteur est réglée avec une aisance et une précision tout à fait remarquables.

Un arbre longitudinal, disposé à l'avant du moteur, sert à la commande des indicateurs utilisés pour la prise des diagrammes sur chacun des cylindres.

De larges portes de visite disposées de part et d'autre du carter, donnent un accès facile à l'intérieur.

Un système d'embrayage H, monté à l'extrémité opposée au compresseur F, constitue en même temps le volant du moteur. Cet embrayage est nécessité par les conditions d'emploi de la machine à bord des sous-marins.

Il n'y a pas lieu de revenir sur les conditions de fonctionnement de la machine ; elles sont de tous points identiques à ce qui a été décrit au début pour une machine à un seul cylindre du type industriel.

Pour les applications à la navigation, le poids des machines est d'une grande importance.

A ce point de vue encore, le moteur Diesel offre les plus sérieux avantages. En effet, les machines dont nous venons de parler, largement établies, ne pèsent que 40 kg par cheval, y compris volant et accessoires du moteur.

Ce poids a pu être réduit de moitié et ramené à 20 kg par cheval effectif sur l'arbre pour des moteurs plus poussés, qui ont cependant fonctionné de la manière la plus satisfaisante.

En dehors de ces résultats déjà sanctionnés par la pratique, il a été établi des projets très sûrs de moteurs Diesel ne pesant pas plus de 16 kg par cheval effectif.

Il s'agit toujours là de moteurs destinés à la navigation, c'est-à-dire susceptibles de fournir un service prolongé, à pleine puissance; mais il n'y a aucune raison pour que le moteur Diesel n'atteigne pas, dans les applications spéciales où cela est indispensable, une légèreté comparable à celle si heureusement réalisée avec les moteurs à explosions.

Tous les moteurs Diesel dont il vient d'être question fonctionnent suivant le cycle à quatre temps.

Ce cycle dans lequel le piston n'est moteur que pendant une course sur quatre, soit pendant un demi-tour tous les deux tours, paraît bien imparfait.

Aussi, de nombreux inventeurs ont-ils exercé leur sagacité pour améliorer l'utilisation des machines en substituant le cycle à 2 temps au cycle à 4 temps; ils semblaient en droit d'escompter tout au moins une forte réduction de poids des moteurs, en doublant ainsi l'effet utile par tour.

Un effort considérable a porté sur la réalisation, simple en apparence, du moteur à explosion à 2 temps, et nombre de machines d'une grande ingéniosité ont été réalisées. Malheureusement aucune d'elles n'a donné jusqu'ici les résultats espérés. En pratique, ces solutions ont toujours entraîné une augmentation importante de consommation, sans même apporter l'avantage d'une meilleure utilisation spécifique de la machine.

Le moteur le plus léger réalisé jusqu'à ce jour est le moteur à 4 temps. C'est grâce à cette merveilleuse machine que l'homme a pu réaliser son rêve obsédant de la conquête de l'air.

Le moteur Diesel se prête, mieux que tout autre, au fonctionnement à 2 temps. Il suffit, en effet de balayer les gaz d'une combustion précédente par de l'air pur pour permettre aussitôt une nouvelle combustion. L'utilisation d'un excès d'air pour cette opération n'entraîne pas de perte appréciable tandis qu'avec

le moteur à explosion, qui exige l'admission d'un mélange détonant et non plus de l'air, les causes de pertes sont évidentes. Aussi, dès les débuts de la réalisation pratique du moteur Diesel, le fonctionnement à 2 temps a-t-il été envisagé, et d'excellentes machines, telles que celles de Güldner et de Carlsund ont été réalisées et ont fonctionné très correctement. Cependant, contrairement aux légitimes espérances de leurs auteurs, elles ne se sont pas montrées supérieures aux machines à 4 temps et n'ont pu pénétrer dans la pratique.

Malgré les difficultés et les imperfections actuelles de cette solution, l'étude du moteur Diesel à 2 temps est toujours poursuivie avec activité, et il est à espérer que sa réalisation accroîtra encore les avantages du moteur Diesel pour les usages de la navigation. Au point de vue de l'allègement et de la réduction d'encombrement, il y a lieu de prendre aussi en très sérieuse considération le fonctionnement à double effet du moteur Diesel. Les excellents résultats que ce dispositif donne sur les moteurs à gaz pauvre permettent d'en escompter également le succès avec le moteur à combustion qui nous occupe.

Les applications du moteur Diesel à la Marine prennent à l'heure actuelle une extension considérable, car il s'agit de les adapter aux bâtiments des plus forts tonnages. Il faut donc produire à bord de ces bâtiments les puissances de 20 à 30 000 ch nécessaires à leur service.

Dès maintenant, les Ateliers et Chantiers de la Loire se sont résolument lancés dans l'étude pratique de cette importante question et cette Société entreprend la construction d'une machine d'essai.

Il est donc fort probable que d'ici peu les résultats acquis seront dépassés dans les plus larges proportions.

LES
GLACES DE MER, GLACES DE RIVIÈRES
MANŒUVRES DE PRÉSERVATION ET DE DEGLAÇAGE

PAR

M. M. DIBOS

AVANT-PROPOS.

Il ne faut pas celer que, chez nous, les études marines et hydrographiques ont quelques difficultés à être prisées. On oublie trop, par ces temps de merveilles de transports terrestres et aériens à grande vitesse, que les chemins qui marchent, sont les voies de pénétration les plus économiques, et que les Océans rendent voisins la majorité des peuples.

Quelqu'un a dit que « l'Avenir des grandes nations est sur les flots ».

Cependant, grâce à la conviction, à l'énergie et au dévouement de très éminents savants, une nouvelle science a été créée, et l'océanographie paraît, présentement, conquérir une certaine vogue. Il est évident que toutes les questions de navigation sont de premier ordre vital pour une nation maritime avantagée en sus par des fleuves superbes. J'ai pensé qu'une étude de glaciologie, exposée en faisant état de mes travaux et interventions pourrait peut-être contribuer à améliorer certaines méthodes, et faire préconiser quelques procédés en ce qui a trait aux opérations de déglaçages maritimes et fluviaux.

PREMIÈRE PARTIE

Phénomènes glaciaires.

Au nombre des phénomènes maritimes naturels, on peut affirmer que la glace a un rôle des plus importants dans l'ensemble des mouvements de la mer.

En effet, le refroidissement des eaux polaires agissant avec l'échauffement des eaux équatoriales et tropicales superficielles, détermine des courants généraux marins qui, semblables à de gigantesques artères, produisent une circulation immense dans les océans et donnent une vitalité intense au globe terrestre tout entier.

Les explorations, sans cesse plus audacieuses, accomplies avec l'héroïsme que l'on sait, tant vers le pôle Nord que vers le pôle Sud, ont montré absolument que, dans les mers boréales, comme dans les mers australes, il existe deux formations de glaces bien distinctes :

1° La glace de terre, c'est-à-dire celle produite par le gel de l'eau douce ;

2° La glace de mer provenant de la congélation de l'eau salée.

Les océanographes admettent, avec raison, que la glace de terre émane des glaciers qui se déversent directement à la mer (tel le glacier suspendu de la Baie de la Magdalena, au Spitzberg), et des débâcles des grands fleuves d'Amérique et de Sibérie. Le docteur Richard mentionne que la glace de terre antarctique appartient toute à la première catégorie.

Toutefois, d'après les analyses de la composition de fragments, plus ou moins grands, de blocs de glace, le Professeur O. Pettersen a pu constater que, fort souvent, la glace de terre et la glace de mer de provenances côtières, se trouvaient agglomérées, réunies.

J'ai dû souvent réagir contre l'idée populaire que l'eau de mer congelée a perdu sa salinité quand elle fond ! La vérité est que l'eau douce congelée est seule douce à la fusion, tandis que l'eau de mer congelée demeure salée en fondant, avec cette particularité, toutefois, que la congélation de l'eau de mer divise cette eau en portion de glace solide où se réunissent tous les sulfates, et en portion de « pan » liquide très dense et très salin, où se portent tous les chlorures formant saumure.

Il est à remarquer que l'âge des glaces peut être reconnu par la diminution de chlorures.

Dans les rares milieux scientifiques où l'on s'occupe de glaciologie, on s'accorde à reconnaître que les glaces de terre émanent, pour la majeure partie, du « Velage » des glaciers, ou autrement dit du bris du pied de ces glaciers aboutissant dans la mer même *(fig. 1, Pl. 174)*.

Nomenclature des Glaces.

Dimensions. — Aspects

Pour mieux fixer les idées, j'aurai recours à une nomenclature des glaces flottantes, d'après une classification que je crois convenable pour les glaces polaires, et en adoptant une notation raisonnée.

1° Les « *Icebergs* » sont des blocs glacés très considérables, qui atteignent environ 100 m de hauteur, plus ou moins, au-dessus de leur ligne de flottaison.

Nordenskiold, Payer, Peary, Rabot, Steenstrup, Richard, sont d'accord pour indiquer que les plus grands icebergs arctiques proviennent du Groenland, du Spitzberg et de la Terre François-Joseph, et mesuraient, en effet, 100 m de hauteur moyenne au dessus de l'eau dans laquelle ils flottent *(fig. 2, Pl. 174)*.

En se détachant, les icebergs mettent encore un temps appréciable avant de s'équilibrer dans la mer. Voici un exemple de naissance d'un iceberg.

Peary narre comment il assista à la séparation d'immenses glaces qui se détachèrent devant lui du glacier de Humboldt et dérivèrent ensuite en icebergs :

« Nous étions à toute petite vapeur, à 4 milles à l'heure.
» Ciel pur, soleil brillant, air vif, mer plate. Le silence de la
» nature était impressionnant. Des glaçons flottaient qu'on
» appelle « Floebergs » ou « Icepans ». Des phoques y dormaient
» paisiblement. Des oiseaux divers s'y tenaient posés. La tran-
» quillité de ces êtres était profonde.

» Tout à coup, une forte détonation retentit, et les échos se
» renvoyaient avec un grand fracas ces bruits, qui moururent
» ensuite peu à peu.

» Nous regardâmes vers le glacier et vîmes une énorme masse
» de glace, aussi large et aussi haute que huit maisons de ville,
» se détacher doucement du glacier et s'enfoncer de plus en
» plus dans la mer en refoulant une grosse vague verte qui
» s'avança comme un mur liquide vers notre navire.

» Nous ne perdions rien de ce prodigieux spectacle et, à notre
» stupéfaction, nous vîmes tout à coup l'iceberg se retourner

» totalement dans l'eau écumante, puis sembler vouloir s'élan-
» cer hors des flots en soulevant une magnifique gerbe d'eau de
» mer.

» Soudain l'iceberg replongea complètement encore et réap-
» parut, à nouveau, au milieu de remous formidables. Ensuite
» l'iceberg se balança de droite à gauche et de gauche à droite,
» coula à pic et remonta à la surface.

» Ces plongeons divers durèrent plus de vingt minutes. Puis
» l'iceberg s'étant enfin équilibré, demeura en position stable,
» et se mit à dériver flottant, poussé doucement par le courant
» de marée, l'entraînant vers le large.

» Une splendide grotte bleue creusée dans les parois émer-
» geantes apparut à nos yeux charmés. Sur l'un des côtés de
» l'iceberg se profila une sorte de grande tour congelée, et une
» arête aiguë lui fit pendant.

» Ainsi naquit l'iceberg. »

On accepte, en général, que les icebergs, ou montagnes de glaces dérivantes, émergent de 1/5 ou de 1/7. Quelques auteurs prétendent que la portion immergée est à la portion émergée comme douze est à dix.

Ces rapports de 1/5 et de 1/7 donnent donc pour un iceberg émergeant de 120 à 150 m, environ 1 000 m pour la dimension verticale du bloc.

En réalité, il n'y a pas lieu de se fier exactement à ces différents rapports qui, suivant moi, ne sont nullement constants, car la glace peut être plus ou moins bulleuse, c'est-à-dire renfermer plus ou moins de bulles d'air dans la masse congelée même et en cours de dissolution par fonte. On conçoit que, dans ces conditions, la flottabilité de l'iceberg se modifie, et par conséquent sa « calaison ».

Au large de l'île de Terre-Neuve, en 1896, j'ai vu, déjà en mars, des icebergs dériver en haute mer. Après relèvement optico-mathématique d'un des plus gros, il ressortit que ce bloc mesurait 66 m de hauteur au-dessus de l'eau, et 1 580 m de largeur (type montagneux avec arêtes escarpées).

Récemment, MM. d'Arodes et Bourée ont fait connaître que, précisément, dans ces parages de Terre-Neuve, ces messieurs ont pu mesurer des icebergs atteignant 90 m de haut !

Ces colosses ont été aussi observés dans les mers antarctiques. C'est ainsi que Scott en rencontra de 14 km de long et de 75 m de hauteur.

D'ailleurs, les icebergs et toutes les glaces flottantes en général, varient beaucoup de dimensions, de poids et d'aspect.

On a vu qu'au Spitzberg, notamment dans la baie de Smeerenberg, les glaciers viennent aboutir directement dans la mer. Il n'est donc pas autrement extraordinaire que des fragments monumentaux de ces glaciers errent ensuite au gré des flots et du vent.

On a mesuré, au cours de ces dernières années, de grandes quantités d'icebergs dans les parages du Groenland.

Le lieutenant Peary, déjà cité, en a trouvé un dans la mer de Baffin qui dérivait à 20 milles de la côte, par 60 brasses de profondeur d'eau (108 m) et qui avait :

4 169 yards de long (3 835 m);

3 889 yards de large (3 577 m);

51 yards de haut (47 m),

et dont le poids pouvait être évalué à 1 292 397 673 t.

Le docteur Hayes en a mesuré un, plus au nord (près du port de Tessi Usak), plongeant dans l'eau de 921 m ! Sa contenance était de 27 millions de pieds cubes de glace et son poids sensiblement de 2 milliards de tonnes !

Quand de tels icebergs s'approchent d'un pays tempéré, leurs réfrigérations de l'air ambiant se font sentir dans un rayon de plusieurs milles.

Un ingénieur hollandais décrit que les icebergs qu'il vit, affectaient une ressemblance très frappante avec les ruines de la vieille cathédrale d'Utrecht vue sous différents points de perspective.

Les formes les plus étranges sont prises par ces glaces majestueuses.

Les petits icebergs ont souvent l'apparence d'une tente telle que les Arabes dressent dans le désert. D'autres présentent l'aspect des yachts, de navires de guerre, de châteaux, de falaises, de sites montagneux.

J'ai pu constater *de visu*, que la coloration des icebergs est extraordinaire. On y trouve du pur blanc et du vert extra net, pour les parties exposées directement à la lumière solaire ou diurne.

Les ombres portées sont d'un bleu indigo très accusé du fait de la réfraction. Des bandes d'un joli bleu cobalt traversent la masse glacée. Ces bandes proviennent de la congélation primitive des ruisseaux d'eau de neige qui gelèrent avant la formation

totale de l'iceberg. Si, lors de mes rencontres avec ces glaces, la remarquable découverte des frères Lumière avait été faite, ou si j'avais été nanti des nouvelles plaques autochromes, j'aurais pu rapporter des clichés photographiques en couleurs fort curieux.

Il existe des îles de glace de 500 lieues de tour, qui perdent moins en été qu'elles ne gagnent en hiver et qui obstruent maintenant des baies et des côtes qui furent autrefois praticables. Certaines fortes perturbations atmosphériques ou volcaniques peuvent disloquer ces îles en un temps très court, mais ces perturbations peuvent ne se produire qu'à de longs intervalles pendant les années desquels la banquise demeure soudée, formant une redoutable barrière aux explorateurs.

Je parlerai plus loin des dangers qu'offrent les icebergs pour les navigateurs qui s'en approchent de gré ou de force, et notamment du péril que présentent ces montagnes transparentes en raison de la fâcheuse habitude qu'elles ont de se retourner, telle, *la tortue marine.*

2° Les *Iceblocks* ou blocs de glace sont des diminutifs des icebergs et ne s'élèvent très exceptionnellement que d'une dizaine de mètres au-dessus de l'eau. Ils proviennent particulièrement du *velage* des glaciers. La coloration de ces glaçons tend surtout vers le bleu pâle;

3° Les *Pieds de glace* ou *Isfot* ou *Icefeet*, se forment principalement sur les bords des estuaires maritimes et fluviaux et le long des côtes pendant l'hiver. Ils ne dépassent jamais 3 à 4 m d'altitude au-dessus de leur plan de flottaison, et présentent des mélanges de terres et de pierres agglomérés à la glace. J'en vis à Terre-Neuve;

4° Les *Flodis* ou *Riverices* sont des champs de glace relativement petits. Lorsqu'ils arrivent à la mer après avoir cheminé longuement sur les fleuves et rivières ces glaçons sont déjà très disjoints et fondent rapidement;

5° Les *Bayis* ou *Bayices* sont des champs de glace de la variété des icefields qui se forment principalement dans les fiordjs, baies restreintes, golfes petits, anses moyennes. Cette *Bayice* fond totalement en été, et est ordinairement de mince capacité;

6° Les *Icefields* ou *Hafis* sont de vastes champs de glaces constitués dans les mers septentrionales à l'est du Groenland, au nord du Spitzberg, au nord de la Nouvelle-Zemble, au nord du détroit de Béring. Ces icefields présentent le danger de se frac-

tionner à la suite de diverses causes : notamment la marée, le vent, les vagues, et de permettre à leurs multiples fragments de s'empiler les uns sur les autres en tas plus ou moins élevés qu'on nomme *Toross* ou mieux *Hummoks*. Tout d'abord anguleux et entassés, ces gros glaçons s'arrondissent et se soudent en masses énormes et irrégulières dont Nansen en a mesuré de 7,50 m de haut. Comme, avant de se souder entre eux, ces glaçons cheminent positivement sous la poussée du vent, des oscillations de l'icefield se rompant, et sous les amplitudes du jusant et du flot, on comprend que tout navire arrêté au milieu du champ de glace peut être l'objet d'un assaut formidable de cette trombe consistante. C'est ainsi que le bateau de Nordenskiold, *la Vega*, et le bateau de Nansen, *le Fram* notamment, furent mis en péril grave par ces *Toross* ou *Hummoks* provenant des convulsions des champs de glace ou *icefields (fig. 3, Pl. 174)*.

C'est dans ces conditions que le navire *l'Antarctic*, de l'expédition Anderson et Duse, envoyée pour rechercher Nordenskiold, disparut à jamais sous les flots de l'Océan antarctique.

Sur le fleuve du Saint-Laurent, en aval de Québec, j'ai assisté aussi à ces formations de hummoks.

Congélation et solidification marines.

En ce qui a trait aux phénomènes de congélation de la mer, les phases par lesquelles passe la masse liquide pour se solidifier, sont les suivantes :

Après que la température s'abaisse de — 4 degrés, la congélation commence à se manifester sous forme de bouillie, d'abondants cristaux surnageant à la surface. L'abaissement de la température ambiante s'accusant, cette mixture en voie de cristallisation augmente sensiblement de consistance et finalement s'immobilise par durcissement croissant et complet. Il est à noter que ce durcissement peut être retardé du fait de fortes agitations de houle, mais peu à peu cette houle se calme et disparaît en raison même de la densité croissante de la couche d'eau de surface se congelant.

En eau calme le phénomène se précipite.

Par contre, on a vu accélérer artificiellement la congélation dans certaines baies resserrées et abritées en lançant une pierre sur l'eau déjà envahie de la bouillie de surface. La faible ondu-

lation concentrique déterminée par la pierre heurtant et plongeant dans la mixture précitée, suffit pour déterminer, avec un bruit de vaste grésillement, la prise générale de la bouillie, se solidifiant ainsi immédiatement par le faible choc mécanique créé.

Les océanographes font l'exacte remarque que la congélation naturelle est infiniment plus brusque à la surface même de la mer où, naturellement le froid atmosphérique agit avec toute son intensité augmentée encore par des brises faibles mais aigres; aussi les couches de glace de surface offrent-elles une salinité beaucoup plus accusée du fait de la saumure ainsi brusquement emprisonnée, alors que, dans les couches liquides inférieures, qui sont forcément congelées avec beaucoup plus de lenteur, leur saumure, vu sa densité, devient fondrière et a le temps de chuter, en précipité sur le fond.

En ce qui concerne la rapidité plus ou moins grande avec laquelle les glaces de toute récente formation s'épaississent, Nansen dit qu'à bord du *Fram*, il a constaté que la glace qui emprisonnait son navire, mesurait une épaisseur de 0,39 m au bout de quinze jours de gel, mais que cette épaisseur ne s'accrût pas aussi rapidement qu'il l'aurait pensé tout d'abord, et il en conclut qu'une fois la surface gelée, l'épaississement se ralentit sensiblement *en dessous*.

Il m'a été donné de vérifier cette allégation.

Certains navigateurs et explorateurs, certains pêcheurs de baleine, ont vu des champs de glace se former sous leurs yeux à 15 et 20 lieues des côtes.

Scoresby mentionne ces curieux spectacles. Dans ces circonstances, la mer se couvre de la bouillie dont j'ai parlé, puis l'agitation des flots s'atténue et se calme promptement. La bouillie s'épaissit, les glaçons naissent et, se soudant les uns aux autres, finissent par constituer une immense couche de plusieurs centaines de milles au milieu de laquelle le navire se trouve tout à coup captif et dérivant avec le champ de glace qui l'emprisonne et le serre. Ces phénomènes se produisent surtout quand on atteint le 70e parallèle environ. Vers 55 à 60 degrés de latitude la mer gèle déjà aisément sur les côtes.

J'ajouterai, par observation personnelle, que, vers 44 degrés de latitude, avec les froids de — 25 à — 27 degrés centigrades, et en remontant vers la Nouvelle-Écosse, j'ai vu la mer prise sur les côtes d'Amérique. C'est ainsi qu'en février 1896, le port de

Louisbourg, au Cap Breton (Amérique), était bloqué quand notre vapeur s'est présenté pour s'y réfugier au milieu d'un blizzard.

Débâcles naturelles.

Au retour de la belle saison, et principalement à compter de la mi-mai jusqu'en août pour l'hémisphère nord, en décembre et janvier pour l'hémisphère sud, les effets du dégel, joints aux efforts des vagues et de la marée, causent la débâcle dans les champs de glace maritime et les glaciers.

Les blocs disloqués croissent en nombre et dérivent à qui mieux mieux. Ces glaces errantes deviennent ainsi de gros dangers pour les navigateurs, car elles constituent des écueils mobiles, vrais « derelicts » naturels, difficilement repérables.

En été, on en rencontre des quantités à partir de 60 degrés et 55 degrés de latitude. Cependant, il existe des parages où les courants en apportent de multiples spécimens beaucoup plus loin dans le sud. J'en ai rencontré dans le nord Atlantique par 42e degré de latitude et le 56e degré de longitude nord, soit à peu près le parallèle de New-York-Madrid.

Le docteur Richard cite également des icebergs qui, en 1905, sont descendus jusqu'à tangenter le 40e degré parallèle nord.

Des navigateurs dignes de foi en rencontrèrent exceptionnellement plus près de la ligne équinoxiale.

Dans la partie ouest de l'Atlantique nord, les glaces qui descendent du pôle, lors de la débâcle, suivent généralement deux directions principales. Les unes restent en vue des côtes et s'échouent quelquefois par des fonds de 70, 90, 140, 200 m et plus.

Les autres dérivent au large à plusieurs centaines de milles de Terre-Neuve, mais sans guère dépasser, je l'ai dit, le 40e méridien ouest. C'est tout à fait extraordinairement et à la suite d'un violent coup de vent que, il y a de nombreuses années, un iceberg vint s'échouer sur le littoral ouest de la France, où il ne fondit complètement qu'au bout de plusieurs mois.

Ces deux lignes de glaces précitées peuvent commencer à s'amorcer par quelques apparitions dès le mois de mars.

C'est le courant du Labrador qui drosse les icebergs vers le sud jusqu'aux confins du Gulf Stream. Une file de ces icebergs descend donc ainsi sur les côtes du Labrador et, passant au large

ou contre l'île de Terre-Neuve, s'amène vers le courant du Gulf Stream qui l'arrête et la fond dans ses eaux chaudes.

Dans le voisinage de Saint-Jean de Terre-Neuve (Saint John New Foundland), les icebergs s'échouent très souvent sur la côte et ferment même quelquefois l'entrée de ce petit port. Certaines de ces montagnes de glace ont l'indiserétion de pénétrer dans le chenal de ce port, qu'elles bloquent momentanément, ou raguent les bateaux de commerce ou de pêche qui s'y sont réfugiés.

Quand on se rend à Québec par le Saint-Laurent, en venant d'Europe, on reconnait d'abord l'île de Saint-Paul, sise entre le cap Ray (Terre-Neuve) et le cap North (île du Cap-Breton). A cette entrée du golfe du fleuve Saint-Laurent, de cap à cap, la distance est de 54 milles.

On passe les îles Madeleines et on relève ensuite la côte redoutée de l'île d'Anticosti, autant que le vent et le temps le permettent.

C'est Anticosti qui divise le bras supérieur du fleuve Saint-Laurent en deux grandes passes dites sud et nord. Le passage depuis Saint-Paul jusqu'à Anticosti est souvent dangereux par suite des vents et courants violents et des brumes épaisses qui y règnent. C'est le vent qui amène les brumes. Alors, de bonne heure au printemps descendent, par le détroit de Belle-Ile et provenant du cercle arctique et de la Terre de la Désolation, les dangereuses montagnes de glace. Sur ces radeaux glacés émigrent des colonies de veaux marins dont les femelles allaitent des quantités de jeunes qui, répondant aux appels de leurs mères, finissent par les suivre dans l'eau salée. Les cris retentissants des vieux mâles restés sur les glaces dérivantes peuvent s'entendre, par nuit calme, à plusieurs milles de distance et inquiètent les marins qui les perçoivent de loin.

Perdu dans l'ouate de la brume et guidé seulement par le compas, le navire avance lentement. Chacun veille à bord. On perçoit bientôt le bruit sourd et monotone du ressac. L'atmosphère se refroidit soudainement. Les hommes appuyés sur le bastingage du côté du vent essaient de plonger leurs regards inquiets dans l'opacité du brouillard. « Certes, se dit le capitaine, j'ai passé les Madeleines ; je suis cependant encore loin d'Anticosti. Quelle route faire? » L'indécision se tranche d'elle-même à l'apparition des masses blanches glacées des icebergs qui arrivent lentement. Du haut des sommets et des flancs de la montagne de glace, qui se désagrège, tombent des ruisseaux et des cascades.

Dans l'océan Indien et dans le sud Atlantique, les courants polaires charrient des glaces flottantes quelquefois au delà du parallèle du 40e degré sud (1).

Enfin, dans le Pacifique nord, on ne rencontre pas de glaces flottantes, à moins de dépasser le parallèle du 50e degré nord.

Il est à remarquer que les glaces australes affectent, pour les icebergs, l'aspect tabulaire à parois verticales nettement détachées de la banquise ou du glacier.

Moyens de préservation contre les glaces flottantes.

Examinons comment les navigateurs peuvent se préserver ou se détourner des glaces flottantes en général.

Certains indices préviennent les marins attentifs de l'approche d'icebergs ou du voisinage des champs de glace fixes ou mobiles.

De jour, avant de découvrir des glaces fixes ou mobiles un peu considérables, on perçoit à l'horizon une clarté caractéristique causée par la réflexion de la lumière diurne sur la glace.

Icebergs et champs de glace annoncent aussi leur approche par le bruit que la mer fait en se brisant dessus et par le refroidissement considérable qu'ils produisent ordinairement dans l'air et dans l'eau.

L'atmosphère ambiante des glaces flottantes est souvent grise et toujours très froide ; j'en ai fait la remarque au nord du banc de Terre-Neuve, en août 1906.

Le dégel de ces glaces errantes est accompagné ou suivi de brouillards épais occasionnés par la perte de calorique que l'air éprouve en favorisant la fonte de l'iceberg ou de l'icefield et des neiges qui souvent les recouvrent.

Les nuages réfléchissent aussi, à l'aplomb des champs de glace, une lueur blafarde qui, hors les temps de brume ou de dégel, présente assez l'aspect d'une aurore boréale ou australe. De jour, ce spectacle est déjà très attrayant, mais de nuit, avec la lune, c'est tout simplement splendide. Pour qui a pu voir une fois ces beautés de la nature, elles sont inoubliables.

Il ne faut pas que les navigateurs se fient outre mesure à l'abaissement de la température de l'eau pour reconnaître si l'on

(1) Tout récemment, le voilier français *François-d'Amboise* ayant quitté Nouméa en juillet dernier à destination de Glasgow, y est arrivé après 139 jours d'une traversée terrible et a rencontré sur sa route 141 *Icebergs*, dont plusieurs de dimensions colossales. Il est probable qu'une débâcle extraordinaire s'est produite dans les régions antarctiques.

est loin ou près d'une glace flottante et alors que, par temps de brume, on compte notamment sur le thermomètre immergé le long du bord pour discerner si des glaces sont voisines ou lointaines.

Le docteur Charcot a observé, étant en route à bord du *Français*, que le courant d'Irminger envoie une branche d'eau chaude côtoyant, au nord et à l'ouest, l'Islande, quand les glaces trop abondantes ou une saison tout à fait défavorable ne s'y oppose pas et il peut se faire qu'on rencontre alors des glaces flottantes, plus ou moins espacées, dans une eau relativement chaude où ces glaces ont pu être poussées par les vents. Le 23 juillet 1902, le docteur Charcot a doublé le cap Nord de l'Islande et son navire *Le Français* s'est trouvé voguant au milieu des glaces flottantes entre lesquelles l'eau de la surface de la mer était à + 7 degrés centigrades, alors que la température de cette même eau, avant et après la rencontre de ces glaces, était de + 8 degrés et + 9 degrés !

En arrivant à Jan Mayen, alors que, cependant, les glaces rencontrées dérivantes étaient déjà à plus de 100 km au loin, l'eau de la mer n'avait plus que + 2 ou 3 degrés, c'est-à-dire la température de l'eau polaire ! De cette très intéressante constatation thermométrique je conclus qu'on doit déduire la non moins très importante observation que, dans certains parages, *la température de l'eau ne saurait indiquer, ni prévenir, de la proximité ou de la présence des glaces flottantes.*

Comme on ne peut délimiter exactement ces parages, il est donc sage de chercher à contrôler, par d'autres moyens de circonstance, les indications du thermomètre sous-marin, quelles qu'elles soient ! Ces notations thermométriques, relevées par les officiers du *Français*, auraient pu induire dans la plus funeste erreur ces explorateurs s'ils avaient fait route dans la brume ou de nuit obscure à travers ces parages hantés par les blocs des banquises.

Or, je viens de relater que les glaces flottantes, en fusion, sont très souvent accompagnées de bouchons de brume produits par le dégel. Les navigateurs du *Français* ont donc été heureusement favorisés d'avoir pu percevoir les écueils flottants et s'en garer au mieux. Tous les marins n'ont pas cette chance.

Le docteur Richard spécifie qu'à bord de la *Princesse Alice* il lui a été donné de constater facilement ces tromperies de la température de l'eau, pendant l'été de 1907, entre la Norvège et le Spitzberg.

A bord d'un navire, les observations qui ont pour objet la prise de la température de l'eau présentent de gros inconvénients par les moyens ordinaires.

Sur les bâtiments de guerre, cette notation nécessite un observateur généralement officier et des matelots pour puiser de l'eau dans des récipients élongés du bord ou par tout autre moyen de circonstance. Mais, sur les navires d'exploration et surtout sur les bateaux de commerce ou de secours, il est évident que l'officier de quart ne peut guère prétendre s'occuper de cette observation qu'après avoir été relevé. Or, dans ces conditions, on ne peut exécuter plus de six observations par vingt-quatre heures, la relève du quart étant faite toutes les quatre heures. Ces six observations seraient notoirement insuffisantes pour assurer la sécurité des navigateurs, surtout dans les parages fréquentés par les glaces et particulièrement la nuit.

Actuellement, beaucoup de bâtiments de guerre, de paquebots, de steamers, voire même de cargos, font des vitesses supérieures à 15 milles à l'heure, en moyenne (28 km), soit 60 milles pendant la durée d'un quart de veille. Ce parcours de 112 km fait certainement traverser, par les bateaux, des zones différentes fécondes en surprises de variations caloriques des couches marines dont il importe toujours d'être soigneusement averti. En sus de la présence éventuelle des glaces flottantes, il y aussi les changements de courants, dont il convient d'être avisé. Or, ces courants varient en températures caractéristiques. L'emploi d'un thermomètrographe s'impose donc.

Un officier de la Marine Impériale Russe a conçu un dispositif intéressant d'application des excellents thermomètres enregistreurs à compensateur et à sonnerie, que construit avec le soin, la science et la précision que l'on connaît, notre honorable Collègue, M. Jules Richard, à Paris. En l'occurence, les expériences de contrôle de ces thermomètres spéciaux montrent que leur sensibilité est extrême et qu'en une seconde et demie de temps leur variation passe de + 10 degrés centigrades (température de l'instrument) à + 2 degrés centigrades, température de l'eau d'immersion et, en une autre seconde, de + 2 degrés à — 2 degrés.

Le dessin qui suit définit l'ensemble de l'installation exécutée à bord d'un navire brise-glaces, il y a quelques années *(fig. 1)*.

AA. Coque du navire (tôles de bordé).

B. Robinet dont les deux canaux et le bouchon sont divisés en

deux par une cloison. La partie extérieure du robinet est couverte de feutre et de toile à voile, afin de diminuer autant que possible sur le thermomètre, l'effet de la température intérieure du navire.

C. Crépine destinée à permettre l'entrée et la sortie de l'eau, ce mouvement du liquide étant déterminé par la vitesse du navire ou la force du courant.

D. Gaine métallique (cuivre) qui renferme la spirale du récepteur-thermométrique. Cette spirale est soigneusement dorée,

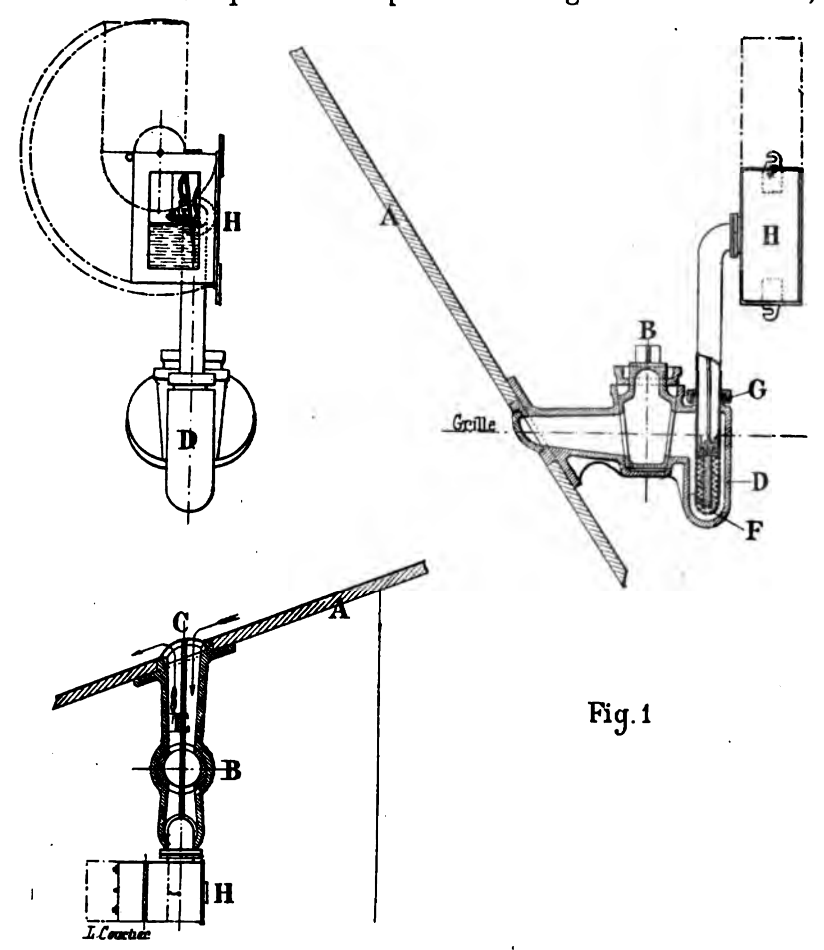


Fig. 1

afin d'éviter toute oxydation du fait du contact de l'eau de mer. Le fond de cette gaine est sensiblement plus bas que la partie inférieure du robinet, afin que cette spirale demeure toujours dans l'eau malgré les mouvements de la mer et alors même

que, dans un coup de roulis ou de tangage, la crépine vint à être éventée subitement.

E. Cloison directrice de l'eau jusqu'au fond de la gaine.

F. Grille de protection de la spirale contre le choc des lames.

G. Écrou de fixation du récepteur-thermométrique au robinet.

H. Enregistreur à compensateur et avertisseur à sonnerie J. Richard (modèle à tige souple). Quand on enlève le thermomètre, il faut fermer le robinet. Quand, au contraire, on met le thermomètre en place, il faut visser l'écrou à fond et ouvrir ensuite le robinet.

Avec raison, le Commandant russe préconise l'installation de la crépine, du robinet et de la gaine contenant le récepteur-thermométrique, dans les formes avant du navire et surtout en avant des conduits des poulaines, en ayant soin, ce qui est très compris, de ne pas poser crépine, robinet et gaine-récepteur à plus de 1 m au-dessous de la ligne de flottaison. Comme les grands cargos ont une différence sensible de calaison suivant qu'ils sont lèges ou chargés et que la différence peut être de plus de 1 m, il est conseillé, pour ce genre de navires, d'installer deux robinets : l'un pour le grand tirant d'eau, l'autre pour le petit.

Il est avéré que les banquises ou les icebergs dérivants répandent une couche d'eau froide qui n'est pas très épaisse, surtout par temps calme. Il vaut donc mieux éviter de placer le robinet trop bas en dessous de la ligne de flottaison.

Je ne crois pas que, l'hiver, l'eau circulant dans la gaine enfermant le récepteur-thermométrique puisse geler facilement si le navire ne stationne pas longuement au milieu des banquises.

En somme, le rôle avertisseur de l'appareil est moins utile en saison hivernale, puisque les glaces : icebergs et icefields, ne sont pas errantes. En saison estivale, au contraire, c'est la période de la débâcle et des rencontres des « derelicts » glaciaires : à ce moment, le thermométrographe fonctionne dans les meilleures conditions.

A bord du *Jacques-Cartier*, de l'expédition arctique du Commandant Bénard, sont installés divers appareils de sûreté J. Richard procédant par avertissements thermométriques des variations caloriques de l'eau de mer.

Au printemps et en été, beaucoup de steamers transatlantiques rencontrent souvent, au large, des icebergs dont j'ai noté l'en-

traînement par le courant du Labrador et qui joignent, au sud du banc de Terre-Neuve, les eaux chaudes du Gulf Stream. Les livres de bord des paquebots des lignes françaises, anglaises, allemandes, qui sillonnent principalement le nord Atlantique, font souvent mention de la présence de ces glaces dérivantes entre les 50e et 60e degrés de longitude ouest et entre le 40e et le 60e degrés de latitude nord, dans la période comprise entre mars et août inclus.

Il va sans dire qu'il est du devoir des marins d'éviter très soigneusement ces glaces : les malchanceux bâtiments qui ont été rejoints par elles furent froissés entre leurs énormes blocs et fortement avariés; d'aucuns de ces navires ont été écrasés littéralement. Les exemples de catastrophes par collisions avec des glaces errantes sont des plus nombreux dans les annales maritimes.

Il convient donc de prendre la route qui éloigne le plus de ces icebergs et de ces icefields.

Les bâtiments à voiles doivent craindre le calme momentané créé par ces masses glacées, élevées, passant au vent. Ce calme a le double danger d'immobiliser brusquement le voilier, qui manque à gouverner n'ayant plus d'erre.

Si l'infortune veut que le voilier ainsi désorienté se rapproche, ou soit approché, à peu de distance de la montagne ou du champ de glace, il faut se défier de la manifestation du phénomène de la capillarité qui tend à accoler le bateau à l'iceberg ou à l'icefield, tels deux bouchons abandonnés dans une cuvette et qu'on retrouve joints !

Dans ces cas, on mettra plusieurs embarcations à la mer et on tentera de les utiliser à remorquer le navire pour le déhaler de la proximité des glaces et du calme factice qui le tient momentanément en panne.

On n'hésitera pas, au moyen d'espars et de dromes de rechange, à border le navire du côté où l'on suppose que le bâtiment peut entrer en contact avec l'iceberg. On sacrifie ces rechanges pour éviter ces funestes contacts de la carène avec les parois de glace.

Si les fonds le permettent, on peut mouiller sur ancres d'affourche. Si la mer est trop profonde, on peut utiliser une ancre flottante. En pareille occurrence, les navires à vapeur bénéficieront avantageusement de leurs moyens de propulsion mécanique.

On sait aussi que la fusion permanente que subit la partie immergée de la glace errante ; le délestage qu'elle peut faire de fragments aériens ou sous-marins du fait de la rupture et de la chute de morceaux importants, déterminent, à certains moments inopinés, des déplacements fabuleux du centre de gravité et de flottaison de ces masses qui changent ainsi brusquement de base avec fracas et au milieu de remous et de ressacs colossaux.

Ainsi, des navires furent coulés à pic ou broyés sans rémission.

Le capitaine d'un steamer revenant en 1907 de Saint-Thomas (New Foundland) à Glascow, rapporte qu'à 130 milles de Belle-Ile on navire rencontra d'abord un icefield qui fut estimé avoir 64 milles de long et autant de large. Ce steamer fut retenu dans les glaces pendant 30 heures et se trouva ensuite entouré d'icebergs immenses dont plusieurs avaient 500 à 600 pieds de hauteur. En les côtoyant forcément, et au risque d'être anéanti, le steamer reçut sur son pont différents blocs pesant une tonne chacun en moyenne, et qui, détachés des sommets de ces montagnes, avaient roulé jusque sur le navire !

Avec les paquebots à grande vitesse qui parcourent maintenant l'Atlantique nord, les risques d'abordages sur les glaces flottantes, par temps de brume, peuvent être des plus graves.

Je ne veux pas rappeler ici certaines pertes, corps et biens, de paquebots qui, lancés en vitesse dans le brouillard diurne ou nocturne, allèrent s'écraser contre les glauques murailles d'un iceberg subitement dressé sur leur route !

On trouvera mention de nombre de ces catastrophes dans les listes des navires perdus publiées par les soins des bureaux de classification tels que le « Veritas » le Lloyd », etc.

On cite un steamer qui monta ainsi sur un champ de glace dérivant, et cabana pour s'engloutir en quelques secondes.

A certaines années, la formation des icebergs est tellement abondante et ils viennent se réunir en si grandes quantités au sud du banc de Terre-Neuve, que les transatlantiques sont dans l'obligation de modifier leur route. Cette multiplication s'est encore présentée en 1902.

Eh bien, malgré les terribles dangers qu'offrent ces rencontres, on sera surpris d'apprendre que les passagers à bord des « liners » qui traversent le nord Atlantique pendant la belle saison, se déclarent désappointés si on ne voit pas des icebergs en route !

Evidemment, je suis d'accord avec ces voyageurs pour reconnaître qu'il est douteux qu'il soit donné à l'homme de con-

templer une scène plus attrayante et plus grandiose qu'un colossal iceberg flottant majestueusement en plein océan et illuminé par l'irradiation solaire !

Mais, pour le personnel naviguant, dès que le navire venant d'Europe, atteint la latitude un peu au sud-est de l'île de Terre-Neuve notamment, c'est le moment de redoubler d'attention et de bien veiller à bord, lors des époques où les glaces descendent du nord.

Tout bâtiment ayant rencontré des glaces flottantes s'empresse de les signaler en mentionnant la longitude et la latitude, et dès qu'il croise un autre navire.

Beaucoup de grands navires possèdent maintenant des postes radiotélégraphiques ; ces installations électriques facilitent singulièrement l'échange de ces importants avertissements, grâce auxquels la sécurité de la navigation augmente si heureusement.

En plein mois de mai, le brick *Mount Stone* toucha, avec un sillage de 8 nœuds sur une glace inaperçue. Le choc fut tel que le capitaine et l'équipage eurent tout juste le temps de mettre une seule embarcation à la mer et de s'y réfugier avec quelques subsistances prises en hâte et au hasard. Le brick coula aussitôt. On était à 120 milles de toute terre. Dix jours après le canot était enfin rencontré par un steamer qui recueillit le capitaine et un matelot, seuls survivants, mais réduits à la plus extrême faiblesse.

On peut multiplier à l'infini la notation de sinistres plus ou moins semblables.

Des bateaux de pêche morutiers, mouillés sur les bancs de Terre-Neuve, ont quelquefois maille à partir avec les glaces flottantes qui sont drossées sur ces bateaux, et il en résulte de grosses avaries et des sinistres.

La prudence prescrit d'éviter de s'approcher ou de se laisser approcher à plus d'un mille (1852 m) des glaces en mer quand on n'a pas à les étudier, les mesurer de près, ou les gravir, dans un but scientifique.

Si l'on décide, à tous risques, de les joindre, il convient de profiter du bon état de la mer et de n'embarquer que dans un canot en laissant soigneusement le navire hors de portée des atteintes du renversement éventuel et inattendu de ces glaces.

Se trouvant enserré au milieu de champs de glace, le capitaine Bennet, de l'*Oliver Elsworth*, montra une grande prévoyance en enveloppant son navire de câbles et de pièces de bois en

travers. Le bâtiment fut si froissé que les pièces de bois furent toutes réduites en morceaux. Le bâtiment courut de grands dangers, mais, grâce à cette sorte de chemise protectrice, un sinistre fut évité.

J'ai constaté aussi qu'il existe des doutes sur la route que va emprunter un grand iceberg quand on commence à l'apercevoir au loin. Il ne faut nullement se fier à la direction du vent et du courant entraînant, par exemple, le navire sur lequel se trouve l'observateur, qui croit ainsi être naturellement à l'abri de tout rapprochement avec la montagne glacée, qu'il suppose dériver dans le sens du courant et du vent reconnus. Or, les courants observés à la surface de la mer ne règnent que dans les couches supérieures et dans une épaisseur de quelques centaines de mètres. Au delà de cette profondeur, les eaux sont immobiles ou se meuvent dans une direction différente de celle des courants de surface. Les courants qui existent dans ces régions inférieures de la mer portent, on le sait, le nom de courants sous-marins. Précisément, comme preuve de l'existence de ces courants sous-marins, on peut citer les icebergs et les banquises que l'on voit *souvent* dériver dans une direction différente de celle du vent régnant ou du courant de surface. Cet effet ne peut évidemment s'expliquer que par l'existence d'un fort contre-courant sous-marin qui entraîne la partie inférieure, profondément immergée, de la masse glacée.

J'ai dit que certains icebergs atteignent 1 000 m de calaison. Dans ces conditions, les courants de surface n'ont aucune action sur ces glaces, qui cèdent à l'impulsion qui leur est donnée par les courants sous-marins quand ces derniers sont les plus forts.

On le voit, les navigateurs ne doivent donc pas se fier à la dérive apparente de grands icebergs qui, pour les causes expliquées ci-dessus, peuvent parfaitement induire les marins en erreur sur la route à préconiser ou à suivre.

Il est fantastique de voir un immense iceberg remonter ainsi, sans effort et contre le vent, un courant de surface en divisant les flots dans un sillage moutonneux ! De nuit, cette scène atteint aux limites de l'invraisemblable.

En s'échouant dans les eaux peu profondes de la côte du Labrador et de Terre-Neuve, les icebergs écrasent des quantités de poissons et de crustacés. Ceci démontre les ravages que peut exercer la partie immergée des grandes montagnes de glace raguant, traînant sur les fonds de l'océan.

En heurtant ainsi les fonds, les icebergs perdent leur équilibre et se couchent ou culbutent avec fracas.

Dans l'hémisphère austral, au mois de janvier, c'est-à-dire en été, un commandant d'un navire de guerre rencontra plusieurs icebergs par 45 degrés sud et 46 degrés ouest. La plus grande de ces glaces avait 2,5 km de longueur et 40 m de hauteur. La brume que le soleil en faisait échapper lui donnait l'aspect d'un volcan en activité !

Quelques ingénieurs maritimes ont préconisé l'emploi de torpilles portées ou fixes pour détourner les icebergs d'incursions dangereuses sur certains points des côtes ou à l'entrée de chenaux et ports fréquentés. Il n'apparait pas que l'intervention des mines sous-marines ait donné les résultats espérés et, outre les importantes dépenses d'explosifs faites dans cet ordre d'idées, il semble être acquis que ces fortes explosions, déterminées trop près d'ouvrages d'art ou de navires mis en péril par les icebergs, ont été plutôt préjudiciables pour les constructions et les bateaux.

Je me souviens que, près des côtes des îles Saint-Pierre et Miquelon, des icebergs, drossés par une forte brise de nord-est, donnèrent de vives inquiétudes aux insulaires. Des propositions diverses furent émises pour contrarier ces dérives menaçantes, mais, à l'examen, je ne reconnus pas que les promoteurs de ces projets méritassent qu'ils fussent considérés.

Une bienheureuse saute de vent de nord-ouest vint, d'ailleurs, avec beaucoup d'à-propos, ruiner les conceptions utopistes des spectateurs exaltés.

On m'a rapporté qu'un commandant d'un navire de guerre étranger avait utilisé son artillerie de gros calibre pour essayer, tant par les vibrations des explosions que par les chocs des obus, de modifier l'assiette de blocs relativement petits de glaces errantes au milieu desquelles son vaisseau allait être obligé de traverser et que l'ébranlement de l'air avait effectivement accéléré le renversement de quelques blocs, devenus ainsi moins dangereux. Toutefois, ces procédés ne sont pas à la portée des bâtiments ordinaires et, en somme, leur emploi ne peut être efficace que pour des glaces de petites dimensions et qui sont moins à craindre par cela même.

DEUXIÈME PARTIE

Considérations sur le gel des eaux encloses, peu profondes, peu saumâtres et douces.

On sait que, immédiatement en dessous de zéro degré centigrade, a lieu la formation de la glace à la surface de l'eau calme, douce, recouvrant de faibles profondeurs.

Si les couches d'air ne sont pas troublées et si le courant est à peu près nul, conditions qui se présentent assez ordinairement dans des biefs abrités et de faible retenue, on voit de longues aiguilles partant des berges, des piles de pont, des quais, des pilotis des estacades, de la ligne de flottaison des bateaux mouillés ou amarrés, s'étendre et s'entrecroiser de toutes parts en s'ajoutant les unes aux autres; les vides existants entre ces aiguilles disparaissent sous la solidification progressive, et une mince couche de glace ne tarde pas à recouvrir toute la surface du plan d'eau. Cette couche s'épaissit de plus en plus sous l'influence du gel et présente aux yeux de l'observateur une surface parfaitement polie et transparente.

Au contraire, si les effets de la congélation ont lieu par légère brise ridant la surface liquide, de petits cristaux s'entrecroisent: une sorte de mixture pâteuse, ayant l'aspect de neige à moitié fondue, recouvre alors la surface du plan d'eau. Dans ces conditions, une fois le phénomène de la solidification accompli, la surface glacée est opaque et rugueuse.

Les rivières et fleuves de 3 à 8 m de profondeur ne se congèlent guère, d'après ce que j'ai pu observer, qu'à des températures atteignant — 10 à — 15 degrés environ. Il est à considérer aussi que dans les eaux immobiles de 10 m de profondeur moyenne, telles que celles de certains bassins à flot ou biefs, il peut parfaitement se faire que, par suite d'un froid intense amené par une saute de vent de nord ou de nord-est, la solidification, déjà en partie constituée, s'opère dans l'intervalle d'ouverture des portes d'écluses ou d'une marée à l'autre, et que la glace ait atteint, au moment des possibilités d'entrée et de sortie des navires et bateaux, une épaisseur telle que les mouvements de port ou de biefs en soient sinon totalement inter-

rompus, tout au moins tellement retardés que la sécurité notamment des entrants obligés à mouiller dans l'avant-port ou de regagner la rade, puisse en être compromise.

J'ai noté que la Marne, la Saône, l'Yonne, la Meuse, la Loire, la Seine et la Garonne, ne se solidifient guère que vers des températures oscillant entre — 12 et — 14 degrés. Ces rivières et fleuves charrient toutefois bien avant, soit vers — 4 à — 6 degrés. Antérieurement à l'envahissement par la congélation de toute la largeur du cours d'eau, il s'est formé de multiples blocs de glace de volumes et de surfaces divers, que le courant charrie et qui flottent en vertu de leur moindre densité. On sait que l'eau douce présente cette particularité d'un maximum de densité à la température de + 4 degrés. Si le liquide, par suite d'une cause quelconque, se refroidit par la surface, il gagne le fond jusqu'à ce que toute la masse d'eau ait acquis cette même température de + 4 degrés. A compter de cet instant, les couches conservent leurs positions : les plus froides constamment placées à la partie supérieure; il semble ainsi que le phénomène du gel paraisse devoir toujours se produire par la surface libre.

Au contraire, par suite de la salure et de l'agitation de l'eau de mer, j'ai dit que la congélation se trouvait retardée et que le gel immédiat ne se produisait guère que dans les passes resserrées, dans les baies ou estuaires, ou près des côtes. Les sels marins, en effet, abaissent en même temps la température de congélation et celle du maximum de densité et cette dernière beaucoup plus vivement que la première.

En rivière, plus les glaces se multiplient, plus leurs dimensions et leur volume augmentent de toutes parts par la solidification de nouvelles couches liquides venant s'ajouter au noyau primitif. Comme le lit du cours d'eau se trouve de plus en plus envahi, la marche des glaçons se heurtant les uns aux autres et aux obstacles naturels ou artificiels existants, est de plus en plus ralentie. A un moment donné une partie des glaçons s'arrête, et l'immense convoi glacé stoppe à son tour. Le froid finit de souder les uns aux autres tout cet amas de glaçons stationnaires, et le fleuve, ou la rivière, se trouve pris. C'est ainsi que je vis prendre le Saint-Laurent au Canada et la Meuse dans les Ardennes.

La navigation, qui a été très pénible au fur et à mesure de l'accentuation du charroi des glaces, se trouve, du fait de la prise du cours d'eau, totalement arrêtée.

Pour retarder le moment de l'embâcle, on essaye généralement, dans les rivières et fleuves canalisés, de faire des mouvements de barrages ou d'écluses, en élevant ou abaissant le plan d'eau. On réussit souvent à gagner ainsi un ou deux jours sur la congélation totale du cours d'eau, mais sans qu'il puisse en résulter un avantage bien marqué pour la navigation, qui a cessé tacitement bien auparavant, faute de moyens plus énergiques d'entretien.

J'ai utilisé l'huile *minérale de pétrole*, déversée dans le cours d'eau, le bassin ou l'estuaire, comme très bon appoint pour retarder la congélation; mais comme il y a à craindre les terribles effets de l'inflammation par imprudence ou cause accidentelle, toujours possibles, de cette huile qui surnage, on ne peut préconiser son emploi que dans les parages lointains ou peu fréquentés, ou dans des endroits endigués de toutes parts, et en installant un service de surveillance rigoureux de tous les instants.

On a cru longtemps que les glaces se formaient toujours à la surface de l'eau. Brauns, Desmarets et Daguin tombent d'accord au sujet de la théorie suivante : « Quand il fait grand froid, l'eau descend à une température inférieure à 0 degré jusqu'au fond, par suite des mouvements qui en mélangent toutes les parties. Le fond lui-même prend donc aussi cette température. Cependant la congélation ne se fait pas, à cause de l'agitation des molécules de l'eau. Mais le liquide emprisonné entre les graviers et les débris de diverses sortes de fond se trouve dans un repos qui lui permet de se congeler. Les parcelles de glace ainsi formées servent de noyaux autour desquels la congélation continue, de manière que les glaçons s'accroissent en soulevant l'eau de la rivière ou du fleuve...

» Les glaçons sont retenus sur le fond, soit parce qu'ils sont soudés aux parties fixes, soit parce que les graviers qu'ils retiennent les surchargent suffisamment. Quand le glaçon est assez épais pour que la poussée du liquide puisse le soulever, il monte à la surface ».

J'ai eu la persévérance de vérifier *de visu* l'exactitude de cette théorie. Beaucoup de glaçons de fond portent d'ailleurs des traces non équivoques de leur origine de formation par les graviers, les herbes, algues, la vase, ou les coquilles qu'ils renferment et entrainent avec eux au moment où, s'arrachant du fond, ils montent à la surface. On peut voir, après le départ de ces

glaces du fond, leurs contours nettement tracés sur le lit du cours d'eau, qui paraît dragué à l'emplacement qu'elles occupaient.

La consistance de ces glaçons est relativement faible encore; c'est plutôt un amalgame de cristaux de glace et d'impuretés : vase, gravier, sable, herbes, boue, coquilles, séparés par de l'eau liquide, d'où le nom populaire de *Bousin* qui leur est décerné.

Mais il est certain que dans les eaux courantes, notamment dans le lit des grands fleuves des régions septentrionales, il existe, pendant les gelées, des amas de glace friable en suspension dans les couches liquides. Cette glace est composée de menues parcelles qui se collent, adhèrent autour des objets qui se trouvent dans le fleuve ou qu'on y plonge.

Des branches de sapin immergées se sont rapidement engainées de glace. Des récipients cylindriques ou cubiques coulés entre deux eaux courantes se sont recouverts également d'une gaîne de glace! Des pilotis, fichés au milieu de l'eau, se revêtaient d'une doublure de glace sous-aquatique.

Les expériences de M. Loktine, Ingénieur des Ponts et Chaussées en Russie ont montré que la couche de glace revêtant ces objets immergés est bien plus épaisse sur le côté exposé vers l'amont du courant, ce qui prouverait, qu'effectivement, les eaux en mouvement véhiculent bien ces mixtures friables glacées, en suspension!

Pendant l'hiver, aux périodes de gel succèdent des périodes de dégel complet et momentané; dans ce dernier cas, les portions congelées des fleuves et rivières se disloquent, et, sous l'action du courant, les blocs de glace disjoints se remettent en marche, s'amoncelant s'ils rencontrent un obstacle qui les arrête ou les maintienne. Ces haltes accidentelles de la masse glacée en mouvement font ainsi courir de graves dangers de bris et d'inondation aux riverains, aux navires et bateaux placés en aval du courant. Arrêtés ainsi et pressés les uns contre les autres, les glaçons finissent par n'en plus former qu'un seul par suite du phénomène connu du regel, créant une barrière menaçante et formidable (*fig. 4, Pl. 174*).

La débâcle s'effectue soit lorsque la température s'élève, soit lorsque de fortes pluies ou des neiges augmentent le volume des eaux du fleuve ou de la rivière, ou que les marées de vives eaux se substituant à celles de mortes eaux exhaussent progressivement le niveau des fleuves et amènent ainsi la dislocation

des champs de glace et les emportent fragmentés au large avec le jusant. Un mascaret remontant un fleuve gelé est un auxiliaire de déglaçage.

On se souvient qu'à partir de 0,04 m d'épaisseur la glace peut déjà porter des hommes isolés marchant sur des planches, et dès le moment où cette glace atteint 0,12 à 0,15 m d'épaisseur on peut y faire passer des voitures attelées.

Je noterai, en passant, qu'au dernier Congrès de navigation, à Saint-Pétersbourg, on a étudié les dispositions à donner aux barrages des rivières à grandes variations de débit et éventuellement à fort charriage de glace, de manière à ménager les intérêts de la navigation et de l'industrie.

Les conclusions ont été les suivantes :

1° Dans la construction des barrages, il y a lieu :

a) De régler le niveau de la retenue avec toute la précision possible ;

b) D'assurer la rapidité de la manœuvre et d'en augmenter la sécurité en établissant les engins de manutention sur les ouvrages fixes ;

2° Il importe d'obtenir l'ouverture aussi rapide que possible de toute l'étendue du barrage et surtout sur des rivières à crues subites ou charriant des glaces en grande quantité.

Il est désirable de pouvoir retirer de l'eau toutes les parties mobiles de l'ouvrage.

Les barrages à vannes et à supports amovibles ont fait leurs preuves, comme aussi les barrages à tambour.

Ces derniers ont l'avantage de permettre le passage des glaces en une certaine quantité sans abaisser sensiblement le niveau d'amont ;

3° Le système des barrages mobiles permettant, le cas échéant, de maintenir la chute nécessaire pour la marche des usines qui l'utilisent pendant le passage des crues et des glaçons, dépend du régime du cours d'eau.

En maints endroits, on trouve déjà des barrages de l'espèce dont la portée atteint 30 m d'une seule pièce ;

4° Les barrages fixes sont recommandables pour les rivières larges et sujettes à de fortes embâcles quand le niveau du bief supérieur ne doit pas être maintenu avec précision ;

5° Au défaut des barrages fixes, qui ne permettent pas de régler la retenue, on peut remédier dans certains cas en rendant

amovible la partie supérieure ou en établissant un barrage mobile à côté du barrage fixe;

6° L'étude d'un barrage doit être accompagnée d'observations sur le mode de congélation et de passage des glaçons dans la rivière; elle réclame aussi la connaissance des conditions de résistance de l'ouvrage au choc des glaces.

TROISIÈME PARTIE

Programme de travaux.

Les techniciens peuvent donc être appelés à résoudre les problèmes suivants :

α) Se débarrasser des glaces sur les eaux dormantes de façon à obtenir le plus large espace possible de nappe d'eau libre;

β) Disloquer sur les eaux courantes une embâcle et rétablir un chenal libre en vue d'assurer, sans accident, la débâcle régulière, et donner accès à la navigation;

γ) Dégager et protéger les navires et bateaux pendant l'embâcle et la débâcle.

Je ne puis penser un instant, à poser ici des règles absolues. J'examinerai ces questions sous leurs aspects les plus généraux de fréquence, et je chercherai, guidé en cela par mon expérience, à fournir quelques indications pouvant être utilisées, avec fruit je l'espère, pour ces travaux spéciaux.

Méthodes et procédés d'opérations de déglacage.

Dans les opérations de déglaçage, il y a deux phases distinctes: le cassage de la glace et l'évacuation des glaçons.

Toutes les méthodes ne sont pas applicables d'une façon générale pour tous les cas considérés, et il y a lieu de distinguer :

1° Les estuaires et rivières à marée;

2° Les rivières en dehors de leur partie maritime;

3° Les canaux artificiels.

Dans la partie soumise au jeu des marées, l'évacuation des glaces, une fois celles-ci brisées, présente généralement peu de

difficultés ; cependant, il est à noter qu'en 1894, la Seine maritime étant déglacée, il n'en résultait pas moins un va-et-vient de gros glaçons qui, d'abord emportés de Rouen vers la mer par le jusant, n'avaient pas le temps d'accomplir le parcours entier jusqu'à la baie de la Seine, et étant pris à mi-route par le flot, remontaient de nouveau vers Rouen, à la juste crainte des équipages des navires mouillés dans le chenal, qui avaient doublement à se garer de cet aller et retour de flotteurs dangereux que le dégel fit peu à peu et enfin disparaître. Ces mêmes soucis se présentèrent en Loire et en Gironde maritimes. Les intérêts considérables, qui s'attachent au maintien du libre accès des ports, justifient des dépenses [relativement importantes s'il le faut. Pour atteindre ce but, l'emploi de brise-glaces et de bateaux à vapeur armaturés est tout indiqué.

En dehors de la partie maritime, l'évacuation des glaces dans les rivières à courant libre s'opère plutôt avec des difficultés marquées. Si les intérêts en jeu sont considérables, ce qui n'est pas le cas général, on utilise des brise-glaces, ou autres moyens mécaniques, ou l'on se sert d'explosifs. On s'attachera à éviter que les glaçons détachés forment des embâcles en aval, et si ces embâcles se produisaient, on aurait recours aux bateaux-béliers, du modèle adopté sur l'Elbe et la Vistule, ou à des explosifs.

Sur les canaux maritimes, l'évacuation des glaçons est très malaisée, et comme les intérêts du commerce sont les mêmes que sur la partie maritime des rivières, il convient absolument d'y maintenir quand même un chenal praticable à la batellerie.

En ce qui a trait aux canaux de navigation intérieure et aux rivières canalisées, on ne peut utiliser les mêmes travaux de déglaçage pour les uns comme pour les autres. En effet, si le déglaçage est réussi, les bateaux affectés à la navigation en canal, moins solidement construits que ceux qui sont destinés à la navigation en rivière ou dans les estuaires, ne peuvent sans danger se frayer une route au milieu des glaces flottantes. On se trouvera bien d'employer des brise-glaces en commençant le travail avant la prise complète du canal ou dès que les signes de dégel apparaissent. On ne peut guère recommander les explosifs dans les canaux, sous peine de détériorer le plafond, les berges, quais, etc.

Comme, dans les rivières canalisées au moyen de barrages mobiles, la navigation ne peut avoir lieu qu'à la condition que

ces barrages soieut relevés, et que ces barrages sont généralement couchés en temps de gelées, les travaux de déglaçage s'imposent moins, sinon pour préserver les ouvrages d'art, les bateaux garés, et préparer la débâcle.

Sur les eaux dormantes, il convient de dégager préalablement les navires ou bateaux enserrés dans le champ de glace, et dont les coques subissent la poussée considérable en risquant de se déformer, sinon d'éprouver de graves avaries dans leurs œuvres vives, ou de se « décintrer ».

Si l'épaisseur de la glace ne dépasse pas, en moyenne 0,12 à 0,15 m, on peut l'attaquer au moyen de haches de charpentier ou de cognées, en l'entaillant par rainures perpendiculaires à l'axe du navire ou du bateau, et en dégageant peu à peu les parois du bâtiment en retirant sur le champ de glace même, au moyen d'anspects, de crocs, de barres, de becs articulés, de pinces à charnières ou de leviers quelconques, les blocs découpés par fragments de 0,60 m à 1 m de côté environ. On dégage ainsi tous les abords du bateau ou du navire, de façon à lui ouvrir une sorte de bassin d'eau libre qu'on entretient tel matin et soir, et pendant la nuit s'il est nécessaire.

Pour briser les glaces ayant une tendance à se reformer le long des bordages du bateau, on se servira de perches terminées de préférence par l'ajut de paniers d'osier qu'on agite du bord, ou en se tenant sur l' « icefield » lui-même.

Pour le découpage du champ de glace on utilise avec succès les scies à longue lame épaisse et à large voie, telles que les emploient notamment les scieurs de pierres ; on fixe un manche double à l'une des extrémités de la lame, on creuse un trou dans la glace pour amorcer le trait de scie et après avoir lesté l'extrémité libre de l'instrument d'une pierre, d'un plomb de sonde, ou d'un corps pesant quelconque, on l'actionne par le mouvement ordinaire de va-et-vient. Il y a intérêt à donner à la scie une inclinaison de 20 à 30 degrés avec le plan du champ de glace ; en agissant ainsi on obtient plus de mordant, et le contrepoids, tout en déterminant une pression convenable de la lame, en facilite aussi automatiquement le mouvement de descente *(fig. 5, Pl. 174)*.

J'ai utilisé une large scie à ruban en lui faisant faire retour à la surface du champ de glace, et en munissant les deux bouts libres de poignées solides sur lesquelles halaient deux hommes robustes. Les tractions alternatives étaient bien rythmées et

l'avancement de la coupure était de 24 m à l'heure pour une épaisseur de glace de 0,43 m maximum.

On peut se servir de « poinçons » ou pinces tels que les emploient les ouvriers poseurs de rails pour riper les voies, ou de barres à mines, pour disloquer les glaçons ou les détacher par fragments du champ de glace ; mais comme par les temps rigoureux les métaux deviennent intenables aux mains des travailleurs, et qu'avec des gants on a des difficultés de manœuvre, le mieux est de faire confectionner des pieux en bois dur de 2,50 m de longueur maxima et de 0,04 m de diamètre, que l'on fait ferrer par une tige pointue dans la douille de laquelle on les emmanche.

Pour des causes quelconques, certaines parties des champs de glace peuvent ne point avoir la même épaisseur générale ; d'autre part, les efforts exercés par les travailleurs en tête du chantier amènent des dislocations inattendues sur les bords libres des coupures du champ de glace, d'où compromission de la sécurité des hommes employés. Il conviendra donc que, du bord du navire ou du bateau, des hommes de veille aient sous la main des lignes lovées et parées à être envoyées à la demande, ainsi que des bouées. Dès que le bâtiment sera dégagé suffisamment on pourra amener une embarcation montée, ou mettre un canot à l'eau, qui se tiendra en tête du travail, aidera à repousser les blocs de glace et pourra porter secours immédiat s'il en est besoin.

Près des hommes sur le champ de glace on étendra des madriers ou des planches, et on disposera une ou deux gaffes. Si l'épaisseur de la glace est variable ou si l'on craint un danger quelconque, on exigera au besoin de faire capeler aux travailleurs les ceintures de sauvetage et on amarrera à ces ceintures une ligne d'une quinzaine de mètres dont le bout libre pourra faire retour à bord, ou être tenu sur le champ de glace par un aide placé à plusieurs mètres en arrière.

Si autour du bateau ou du navire l'épaisseur de la glace dépasse 0,20 m, il peut devenir nécessaire d'employer les explosifs. Toutefois cette utilisation des engins détonants est assez ardue en raison des chocs que transmet la masse glacée aux membrures du navire ou du bateau, surtout s'il est de construction métallique. Avant de se servir des poudres, on cherchera préalablement à détacher mécaniquement, à l'aplomb immédiat des bordages du navire ou bateau, une ceinture de glace de

0,50 m de largeur environ, de façon à isoler la coque le mieux qu'il sera possible du contact immédiat du champ de glace.

On se trouvera donc bien dans ces conditions de l'emploi de la scie (il en est de 3 m de long) ; on déterminera à distance une nappe d'eau libre où on fera glisser les blocs détachés, les premiers ayant été enfoncés sous l'eau pour déblayer le plus vite possible et donner de l'aisance aux travailleurs. A l'appui de l'emploi de la scie que je préconise et dont j'ai obtenu de bons effets, je citerai un fait rapporté par feu l'amiral Paris : « En 1855, un navire fut cerné par les glaces à Kil-Bouroum, à l'embouchure du Dnieper. Les essais de rupture à la hache furent infructueux parce que, dit l'Amiral, la hache enfonçait très peu et laissait dans la rainure obtenue des fragments de glace qui amortissaient les coups suivants. Le bâtiment fut dégagé par le sciage de la glace, opéré cependant dans des conditions bien précaires, puisque, faute d'engins spéciaux, on se servit de lames de tôle dentelée de 3 à 5 millimètres d'épaisseur et munies à une extrémité de boulets et à l'autre d'une traverse pour la manœuvre. »

Dès que le navire, ou le bateau, sera dégagé, on maintiendra liquide l'eau ambiante dans laquelle il plonge par les moyens d'usage, et sous une surveillance constante. Si le bateau est muni d'un moteur à vapeur, on pourra mettre les chaudières sous pression et au moyen d'un ajustage de tuyau « *ad hoc* » envoyer sur certains points contre les bordages mêmes des jets de vapeur qui suspendraient la congélation, s'ils n'arrivaient pas à la vaincre sur diverses portions en contact immédiat avec la coque. Je rappelle qu'on peut aussi filer de l'huile minérale.

Pour rompre une embâcle sur les eaux courantes, il faudra chercher à établir immédiatement un chenal, que l'on tracera de préférence aux endroits où l'on constatera que la vitesse du courant atteint son maximum. L'épaisseur de la glace est généralement moindre à cet endroit. On examinera également le dispositif des rives ou quais, de façon à se rendre compte des rapports d'eau plus ou moins considérables sur certains points, si le cours d'eau, ou l'estuaire, est sinueux. On se placera à l'aval pour commencer le travail de coupure. On cherchera à s'organiser de façon que, les blocs détachés, entraînés par le courant, puissent trouver une facile issue ; il faut, en effet, éviter la reconstitution, plus loin, d'une autre embâcle, formée elle-même des glaçons fragmentés avalants. Au besoin on tirera à

terre ces blocs suffisamment réduits pour pouvoir être halés sans trop d'efforts sur la rive, par des attelages ou des équipes. Pour aider à la sortie de l'eau de ces blocs on les fera glisser sur des madriers, des planches, des rails, des poutres, disposés en rampe douce à partir du plan d'eau. Pour haler ces glaces à terre on les entourera d'une chaîne d'une largeur convenable ; c'est plus sûr et aussi rapide que les crochets-clameaux et les becs de perroquets. On peut aussi installer des tobogans.

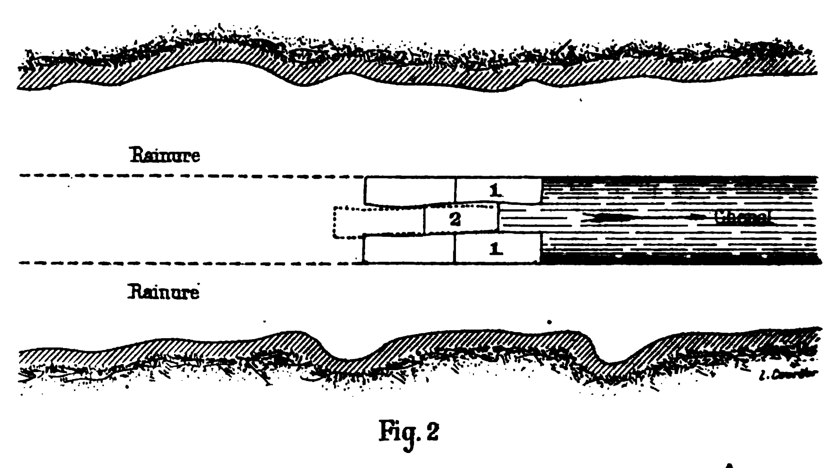


Fig. 2

Pour créer des chenaux par procédés mécaniques, on adopterait, avec succès, les dispositifs suivants (*fig. 2*) qui, à mon avis, et après épreuve, me semblent les plus accélérés. De chaque

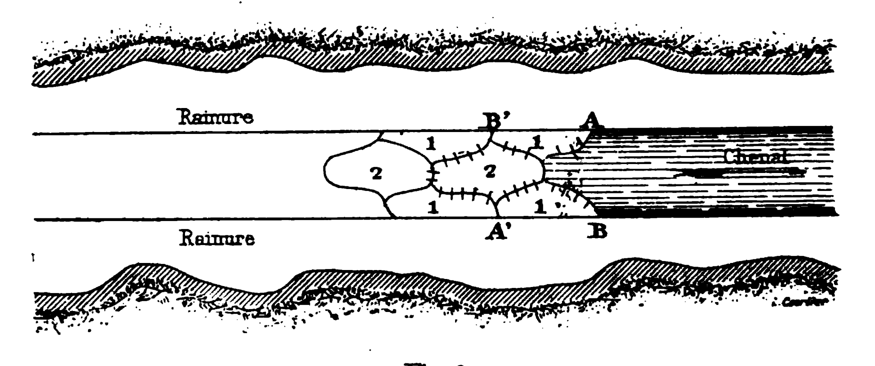


Fig. 3

côté de la largeur fixée pour le chenal, parallèlement aux rives, et vis-à-vis chacune d'elles, on pratiquera une rainure dans la glace. On entaillera ensuite le champ de glace, en cherchant à

fractionner les blocs rectangulaires 1 et 1, et ensuite 2. On pousse à l'aide de gaffes ou de crocs les rectangles détachés, si le courant ne les entraîne pas lui-même, ce qui arrive le plus souvent.

Pour les chenaux où l'emploi des explosifs est indiqué, ou de grande largeur, on pourrait adopter le dispositif à fer à cheval (*fig. 3*), et placer les chapelets de cartouches suivant la ligne AB ou A B', A' B.

Ou bien la méthode des triangles (*fig. 4*), en déglaçant successivement de 1 à 10 après avoir amorcé à la scie (ou par un autre

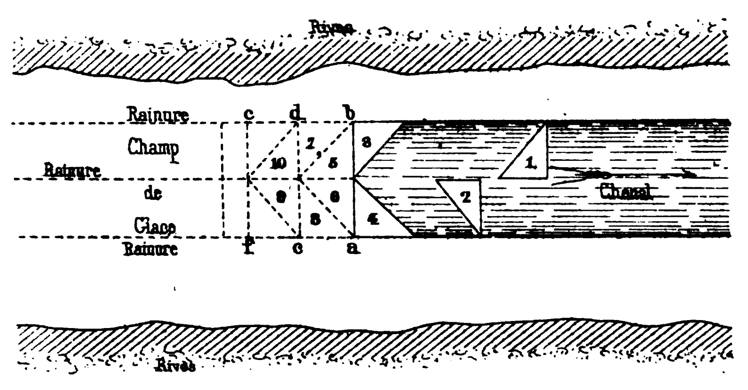


Fig. 4

procédé nouveau dont il est parlé plus loin) les lignes *ab-dc-ef-bde-fca*, etc.

A ce sujet, j'ai en vain recherché des indications précises parmi les notes des rares ingénieurs ayant étudié les travaux de déglaçage pour la création des chenaux artificiels.

Il me paraît, en effet, très difficile d'établir des règles mathématiques sur les largeurs à donner à ces chenaux à creuser à travers les champs de glace ; on ne peut que fournir des indications, les travaux à effectuer se modifiant suivant les localités, le courant, la largeur ou la sinuosité des cours d'eau ou de l'estuaire.

Néanmoins, je pense que le chenal à tracer, pour les rivières et fleuves embâclés, de largeur moyenne, soit 60 à 150 m, peut être de 12 à 20 m environ ; pour les fleuves et estuaires de grande largeur, soit 200 à 600 m et au delà, peut être de 80 à 150 m, et plus, s'il s'agit, dans les deux cas, de donner passage à une banquise semblable à celles formées en Seine, en Loire

et en Saône, pendant certains hivers comme celui de 1879-80.

Ainsi que je l'ai dit pour les eaux dormantes, les procédés de déglaçage pour des épaisseurs n'excédant pas 12 à 15 cm sont les mêmes sur les eaux courantes pour des épaisseurs semblables. La hache, la scie, les leviers, les barres à forer peuvent être employés avec succès.

Dans la réunion d'un matériel de fortune et faute de mieux, il y aura avantage à se servir d'une grosse embarcation, grand canot, margotat, plate, bac, ponton, ou tout autre bateau solidement construit, dont on revêt l'avant d'une armature « *ad hoc* », en doublage de bois, placée extérieurement et recouverte d'une tôle de 6 à 7 mm environ. On embarque un certain nombre de manœuvriers. De terre au moyen d'une ligne, on amène l'embarcation à l'aplomb, et contre les bords du champ de glace, en aval. Les hommes impriment à l'embarcation un mouvement de tangage en se portant de l'avant à l'arrière, et de roulis en se balançant d'un bord sur l'autre. L'ondulation liquide qui se transmet sous la glace fait détacher les blocs en bordure. On avance l'embarcation au fur et à mesure que le champ de glace se disjoint, et des manœuvriers armés de gaffes ou de crocs aident les glacons à prendre le fil du courant qui les emporte.

On peut aussi charger cette embarcation d'un poids quelconque ou d'hommes, et après l'avoir fait amarrer à une longue remorque sur laquelle on attelle dix ou vingt chevaux courant sur les berges, on prend du champ; mettant les attelages au trot, on lance l'embarcation sur les glaces qu'elle fend au choc, sur lesquels elle monte, et qu'elle disjoint par son propre poids en les écrasant.

Pendant l'hiver 1892-93, en Marne, en utilisant cette dernière méthode alternée avec l'emploi d'une équipe de dix mariniers armés de cognées, j'ai pu creuser en vingt heures de travail, divisées en deux reprises de dix heures, un chenal de 502 m de long sur 14 m de largeur dans un « ice-field » de 13 à 15 cm d'épaisseur, et préserver d'une banquise d'amont de 5 m d'épaisseur, constituée en amoncellement touchant le fond, et qui les aurait certainement emportés, trois bateaux chargés, d'un total de 780 t, et d'une valeur réunie de 600 000 f. Les frais de l'opération revinrent à 450 f. J'étais disposé à me servir de charges d'explosif Favier, pour le cas où, avant ou pendant la débâcle, la banquise eût eu besoin d'être fragmentée. J'avais calculé les charges à raison de 3 000 g pour 1,50 m de profondeur moyenne,

ce qui à l'explosion du fourneau me permettait de compter sur des entonnoirs d'environ 4 m de rayon. Je reviendrai ultérieurement sur cette question de l'emploi des explosifs et du choix de leur nature.

Quelques années après, j'ai répété une opération sensiblement la même en utilisant, cette fois, une grosse chaloupe armaturée grossièrement à l'étrave d'un petit fer en U et sur l'avant tribord et bâbord de plaques métalliques découpées dans des bonbonnes d'huile minérale. Le résultat fut aussi très bon et les frais insignifiants.

Dans le cas où le temps ou la possibilité manqueraient pour créer un chenal de longueur suffisante, à l'écoulement convenable des glaces et que, néanmoins, des navires et bateaux fussent en danger, on établira à l'avant, et du bord du large de ces navires et bateaux, pour les bâtiments mouillés contre la rive, et des deux bords pour ceux placés au large, une sorte de doublage en madriers de 2 m de long, sur 0,04 m d'épaisseur, jointifs et verticaux, dont les deux tiers de longueur seront immergés. On multipliera les amarres, qu'il y aurait avantage à établir en cordage métallique dans la proportion de une sur quatre; les cordages métalliques résistent beaucoup mieux au heurt et au contact des glaçons dont les aspérités ne peuvent rien sur les torons, alors qu'avec les câbles en chanvre ces derniers sont rapidement usés, déchiquetés, et rompus par les multiples arêtes des blocs en dérive. On aura à bord des hommes de veille, armés de bâtons de marine, d'espars, ou de longrines permettant de repousser les glaçons. Si le bateau est à vapeur, on le tiendra sous pression après avoir dégagé les glaces à l'arrière, à l'aplomb de l'hélice, de façon à permettre non pas d'évoluer, ce qui serait une superfétation, mais si les amarres ou les câbles des ancres manquaient, de résister à l'assaut des glaces, en mettant la machine en route sur la marche avant, en vitesse s'il est nécessaire, afin d'essayer le plus longtemps possible d'éviter de tomber en travers de la débâcle, de pouvoir étaler le courant et d'avoir le temps nécessaire de s'amarrer à terre, ou de mouiller sur câble métallique, ou double aussière.

Je me suis bien trouvé, dans une circonstance périlleuse de débâcle, d'avoir fait battre à l'avant d'un bateau en danger que, le temps ayant manqué pour établir un chenal il fallait néanmoins préserver, un éperon en bois constitué par des sapines de 20 cm d'équarrissage et 10 m de longueur fortement étrésillon-

nées, assemblées en forme de V, et qui, flottantes à l'avant du bâtiment, et en prolongeant les bords, rejetaient de deux côtés les glaces que la débâcle venait drosser vers l'étrave de la coque en péril.

Dans des conditions semblables, pour quatre bateaux arrêtés en ligne de file et surpris par une gelée intense — 16 degrés (le fleuve charriant depuis cinq jours), je fis battre à l'avant du bateau chef de file et diagonalement à l'axe du bâtiment suivant un angle de 20 degrés, une série de cinq pilots de 20 cm de diamètre et 6 m de longueur (dont 1 m enfoncé dans le lit du fleuve), et espacés de 2,90 m d'axe en axe. Je fis moiser ces pilots par des madriers horizontaux de 4 cm d'éqaisseur, sur 3 m de longueur, cloués avec pointes longues de charpentier et formant glissières. La tête des pilots émergeait de 80 cm environ et la hauteur des glissières était de 75 cm émergés et de 52 cm immergés : ensemble 127 cm. Je me servis du pont du bateau même pour installer la sonnette, et des deux premiers pilots frappés, sur lesquels on avait édifié un tablier *ad hoc*. Par mesure de prudence, toutes les têtes de pilots furent brellées avec une aussière du bord, et des arcs-boutants constitués par deux sapines de 15 cm de diamètre et 9 m de longueur contretinrent les pilots 1 et 3 en prenant appui sur la berge, Le convoi fut sauvé de la débâcle qui survint six heures après l'achèvement des travaux de préservation qui avaient duré un jour et une nuit, au cours de laquelle on se servit de la lumière Wells, l'acétylène n'étant pas encore employé.

L'épaisseur moyenne des glaçons en débâcle était de 20 à 25 cm et leur surface de 7 à 12 m. Une fois le premier heurt passé contre la tête de glissière ces glaçons, obéissant à la direction imprimée dégageaient la file des bateaux, dont les équipages n'avaient qu'à veiller, au moyen de barres, d'anspects, de crocs, de gaffes, etc. Les pilots et madriers avaient été pris en location, sous réserve d'effectuer le paiement total des pièces mises hors d'usage.

Avec les indemnités de ce chef, l'apport et le remport des apparaux de battage et la main-d'œuvre, cette opération revint à 780 f. Ces six bateaux représentaient ensemble 1 400 t et une valeur réunie de 1 100 000 f.

De 1886 à 1906, sur des points différents d'estuaires et de voies navigables en France, en Belgique, en Hollande, en Angleterre, en Amérique, j'ai répété pour mon compte, ou pour le compte

de tiers armateurs et divers, des interventions techniques de ces genres de dégagements de navires et bateaux pour des cas variés dont quelques importantes opérations ressortissent :

Frais exposés et dépenses pour création de matériel de circonstance, main-d'œuvre, location vapeurs et bateaux, apparaux, explosifs, etc.	Évaluation des capitaux flottants préservés (Coques et cargaisons).
3 220 f	725 000 f
896 f	467 000 f
500 dollars	250 000 dollars
257 f	93 000 f
940 f	214 000 f
4 319 f	368 000 f
67 f	29 000 f
350 livres	330 000 livres
2 005 f	585 000 f

Sans vouloir citer ici d'autres exemples d'opérations de préservation glaciaire, ce qui deviendrait fastidieux, on peut dire, par les termes comparatifs qui précèdent, que les frais exposés sont réellement infimes par rapport à ces résultats sérieux de sauvegarde obtenus pour des bâtiments isolés mis en péril par le gel dans les zones tempérées de l'ancien et du nouveau monde.

Choix des types de bateaux propulseurs et des dispositifs propulsés de brise-glaces.

Il m'a paru nécessaire de rechercher les modèles de bateaux ou les dispositifs d'éperons pouvant être choisis de préférence pour les besognes de déglaçage, et j'ai trouvé, déjà en 1895, principalement en Hollande, des types de brise-glaces ou charrues à glace, qui remplissaient de bonnes conditions de résistance, de forme et de facile application.

Une question se pose. Tout d'abord les vapeurs à aubes doivent-ils être préférés aux vapeurs à hélice, ou *vice versa* pour les travaux de déglaçage, et les bateaux en bois doivent-ils l'emporter sur les bateaux en fer, ou le métal doit-il seul constituer la carène de ces bateaux ?

Il est reconnu que le battement de l'eau par les palettes des aubes produit des ondes très favorables à la dislocation de la glace avoisinante, mais que la largeur relativement grande des

vapeurs à roues ne permet qu'une progression lente du bateau dans la glace fixe, et que les risques d'être pris dans les glaçons sont plus à craindre pour les bateaux à roues que pour les bateaux à hélices, moins larges et plus légers.

D'autre part, les couches d'eau sont agitées sur une moins grande surface, mais à une plus grande profondeur, par un bateau à hélice que par un bateau à roues et, dans plusieurs cas, cette agitation profonde a des résultats non moins heureux qu'une agitation superficielle du liquide *(fig. 6, Pl. 174)*.

Un avantage absolument inhérent aux bateaux à hélice, c'est d'exposer beaucoup moins le propulseur aux chocs des glaçons, et la facilité que l'on a de le protéger au moyen d'une cage métallique dite crinoline.

Les premiers essais de déglaçage, qui ont été tentés un peu partout, le furent plutôt avec des bateaux à aubes, non par choix, mais parce qu'il fallait se servir des bateaux que l'on avait sous la main, et pouvant développer une certaine force.

On est enclin, en général, à donner actuellement la préférence aux vapeurs à hélice, et cela avec raison. Ensuite les bateaux à aubes tendent à devenir rares.

D'après les expériences faites à l'étranger, les hélices en acier l'emportent de beaucoup, comme résistance aux glaces, sur les hélices en fonte ou en bronze. Ces dernières perdent totalement leurs ailes, alors que les propulseurs en acier ne perdent que des fractions négligeables des extrémités des ailes, et cela dans des heurts absolument violents.

Avec les bateaux à aubes, outre la grande surface qu'offrent les pales des roues aux chocs des glaçons, il y a à craindre l'engagement des aiguilles de glace dans l'ossature de la roue elle-même, et cela souvent à l'instant où le vapeur a le plus besoin d'être maître de sa manœuvre. On conçoit aisément combien graves peuvent devenir les avaries causées à un vapeur à roues par un bloc de glace entraîné et coincé par les pales dans les tambours.

Je ne préconise le bateau à aubes que pour, le chenal une fois créé, maintenir libre la nappe d'eau dégagée, en y faisant circuler incessamment, et en vitesse, ces bateaux.

Avant qu'on construisît des brise-glaces, ou des charrues à glace, on a utilisé, tels quels, les bateaux à vapeur ordinaires qu'on lançait sans autres précautions contre les amas de glaces à détruire.

Les coques en fer, avec leur étrave métallique, et la facilité

de glissement qu'elles offrent sur leurs tôles aux blocs congelés, sont manifestement très propices à ces attaques de vive force.

Toutefois, avec les charrues à glace décrites plus loin, ces avantages du bateau en fer disparaissent, et la parité s'établit entre les coques fer ou bois, le bateau, quel qu'il soit, n'ayant plus à remplir d'autre rôle que celui de propulseur.

Il est à noter qu'en cas d'avaries les réparations sont plutôt économiques avec les carènes en bois. Le bordé d'un navire en fer manque d'élasticité; sous l'influence d'un choc local il se crève ou se déchire, dans un cas où un bordé en bois aurait résisté, grâce à son élasticité.

Cet inconvénient est réel et n'est compensé que par la possibilité de localiser les voies d'eau à cause des facilités données d'établir des cloisons étanches et de compartimenter les cales des navires en fer.

Rien ne s'opposerait néanmoins à ce que, à bord des bateaux à vapeur en bois, destinés à un usage plutôt régulier de déglaçage chaque hiver, on n'installe des compartiments étanches construits *ad hoc* pour la durée des travaux. Cela serait dispendieux évidemment, et viendrait grever supplémentairement les frais généraux des moyens préventifs de chômage par la gelée, mais ce serait une sécurité non négligeable. Aujourd'hui, il est vrai, il existe peu de remorqueurs à vapeur en bois, mais dans les ports maritimes ou fluviaux où l'on en possède, on ne sera pas fâché de les utiliser si besoin, et seule la charrue à glace le permettra.

En 1883, l'État hollandais fit une convention avec un entrepreneur de remorquage pour que ce dernier, moyennant une subvention annuelle de 9 200 florins pendant quinze ans, construisît un vapeur qui serait affecté aux travaux de déglaçage l'hiver, et utilisé l'été, par l'entrepreneur, pour ses travaux de halage.

Le *Wodan* fut alors construit. C'est un robuste steamer à aubes, long de 40 mètres, large de 13,40 m, y compris les tambours, et calant 2 m. Ce bateau fut actionné par deux machines complètes, à double expansion (système Woolf et Compound), les aubes sont indépendantes et peuvent être mises en marche chacune en sens contraire, ce qui donne une mobilité plus grande au vapeur et lui permet de virer presque sur place.

Le *Wodan* fut employé au débâclage seulement en 1885, ainsi que deux autres vapeurs loués pour la circonstance.

Le *Wodan*, qui ne porta qu'en 1892-1893 sa charrue à glace, donna des résultats satisfaisants, la gelée n'ayant pas été très forte.

En 1890-1891, outre le *Wodan*, toujours dépourvu de charrue à glace, le service de Waterstaat requit les vapeurs suivants pour opérer, avec leurs étraves, sur le Hollandsch-Diep, les Merwedes, le Waal, le Maas, les voies de navigation de Dordrecht, le Lek et la Nieuwe-Maas :

	Longueur.	Largeur.	Tirant d'eau.	Chevaux vapeur.
	—	—	—	—
Maasluis	34,10	11,90	2,10	93
Zeeland	33,50	12,00	1,65	80
Rotterdam, vapeur à hélice.	30,00	5,00	3,80	60
Général-Van-der-Heyden, vapeur à hélice.	31,40	6,30	2,10	93
Colonel, vapeur à hélice	23,30	4,90	2,25	30
Dieudonné, vapeur à hélice.	27,43	5,94	1,73	60
Hosanna, vapeur à hélice	28,00	5,60	2,00	45
Hoeck-Von-Holland.	20,82	5,36	2,25	30

Tous ces bateaux étaient en fer et non armaturés à l'avant. Le froid fut particulièrement vif, et les résultats des efforts de ces remorqueurs transformés en brise-glaces furent insignifiants. En revanche, une fois le débâclage fini et les vapeurs sur chantier, il parut qu'ils avaient généralement beaucoup pâti. Les proues de presque tous les vapeurs avaient leurs tôles plus ou moins enfoncées et en partie crevassées; tous les bateaux faisaient eau. Tous les vapeurs à hélices eurent une ou plusieurs hélices brisées.

Les vapeurs à roues eurent beaucoup d'avaries dans les aubes.

Tous les vapeurs eurent des avaries de gouvernail.

Les machines se maintinrent en assez bon état. Elles n'eurent pas d'avaries importantes.

Le *Général-Van-der-Heyden* coula dès la mise en activité, mais put être renfloué ultérieurement, quoique ayant sombré par 14 m de fond.

L'ensemble des frais généraux de ces opérations revint à plus de 145 000 florins au Gouvernement hollandais. Pour éviter de surcharger des remorqueurs ou d'être dans l'obligation d'y apporter des modifications telles qu'il en résulterait pour la carène, et outre une dépense renouvelable chaque année, des détériorations ou des fatigues dangereuses à la longue, on s'est

ingénié à rendre flottant et indépendant du corps du vapeur le brise-glace lui-même, qui est seulement poussé par le remorqueur; c'est ainsi qu'on construisit les charrues à glace.

La charrue à glace (Isploeg).

En général, ces charrues affectent sensiblement la forme des socs jointifs des charrues de labour dites jumelles. Ces socs, placés dans le plan horizontal, ont une longueur de 10 m, une largeur de 4,50 m, une hauteur de 2,50 m, et sont constitués par une ossature de fers cornières et d'équerres de contreventements, recouverte de tirants et contreforts en fers plats, et des tôles de 8 et 9 mm formant caisson étanche. Poids 4 000 kg.

L'appareil est calculé pour pouvoir flotter.

Le vapeur propulseur entre dans la charrue par derrière; on leste le bateau de manière à bien faire porter l'étrave exactement dans l'axe du bec du soc, et les bordages dans l'évasement des oreilles du soc, et l'on rive la charrue au bateau, soit au moyen de tirants métalliques faisant retour à bord, soit au moyen d'une ceinture en fil d'acier passant par des œilletons forés dans les oreilles de la charrue, et faisant retour à bord par les écubiers du vapeur, et virée au cabestan ou raidie à l'aide de tendeurs à vis; soit en mariant la charrue à l'étrave et aux tôles des virures de l'avant en serrant des boulons traversant les oreilles de la charrue et les tôles de carène. On s'assure que le portage des formes intérieures de la charrue est bien complet sur la proue du vapeur, et, s'il est nécessaire, on remplit les vides au moyen de platelages de bois ou de prélarts, de fauberts, de vieux cordages convenablement disposés, ou tout autre bourrage élastique.

La flottabilité de ces charrues permet précisément d'en armer les bateaux à vapeur sans qu'il soit besoin d'avoir recours à un échouage, à une mise sur gril, à une entrée en cale sèche.

On peut, sans inconvénient, donner à ces charrues telles dimensions qu'on jugerait convenables, pourvu que l'on réserve seulement au bateau à vapeur la force de propulsion utile pour le bien accompli du travail à exécuter. En un mot, un remorqueur de petit tonnage, possédant une forte machine, peut propulser une charrue de grand volume dès l'instant où tout l'ensemble du système peut se déplacer avec fruit.

La charrue à glace fend la glace à l'aide du soc double, la

soulève et la rejette de chaque côté sur le champ de glace lui-même *(fig. 7, Pl. 174)*.

On voit l'importance de ce dispositif, qui laisse presque immédiatement le chenal libre sitôt après le passage du vapeur, et évite les diverses manœuvres subsidaires généralement obligatoires après un bris, par les moyens ordinaires, d'un icefield, savoir : l'évacuation des glaçons à l'aide de perches, de gaffes, de barques, etc.

M. l'Ingénieur Cramer dit qu'à un concours qui eut lieu par suite des travaux simultanément entrepris de Rotterdam à Kralingen, entre les charrues à glace de deux Sociétés : Blauwe Ster et V. D. Garden et Cie, les deux engins exécutèrent, avec la même puissance, le déglaçage entrepris.

Il ne peut être fait de comparaison entre un bateau à vapeur non pourvu de charrue, et un vapeur armé de cet appareil, tellement, et cela tombe sous le sens, le rendement du travail effectué est hors de proportion.

On a vu plus haut qu'au cours de l'hiver 1890-1891 le Waterstaat envoya, notamment avec trois remorqueurs assez puissants, le *Masluis*, vapeur à roues, le *Colonel* et le *Dieudonné*, vapeurs à hélice, tous trois non munis de charrues, débâcler la glace sur le Leck. Ces bateaux n'avancèrent que lentement, alors qu'un modeste vapeur à hélice, armé d'une charrue flottante, progressa aisément dans la glace, dépassa les vapeurs de l'État, ET « MANŒUVRA AUTOUR D'EUX » *(sic)*.

Ces charrues attaquèrent et brisèrent des épaisseurs de 40 cm, et, à travers des champs de glace de 20 à 25 cm, les bateaux qui les poussaient conservèrent des vitesses de 3 à 4 nœuds.

En 1891, et en un jour et demi, le *Isploeg*, vapeur à hélice, muni d'une charrue, ouvrit un chenal de 75 km entre Amsterdam et Rotterdam.

En 1892-1893, pendant dix-neuf jours, le vapeur *Krimpen-ad-Lak* armé d'une charrue à glace, entretint libre la navigation sur l'Y.

Le système de déglacage par les bateaux écraseurs a un inconvénient. La glace se fend, et une partie des glaçons glisse en effet sous la quille, et vient émerger à l'arrière, où ces blocs congelés tendent à embarrasser déjà le chenal tout récemment ouvert, sans compter la gêne qu'ils produisent dans l'exécution des manœuvres à culer du vapeur prenant de l'élan pour une nouvelle attaque. Si le vent, le courant, ou la marée, ne sont pas

propices à l'évacuation des blocs disjoints, il peut donc résulter un très réel embarras pour les bateaux brise-glaces.

Avec l'emploi de la charrue à glace pour des épaisseurs moyennes, rien de semblable ne paraît devoir se produire puisque, comme on l'a vu, les blocs détachés sont symétriquement rejetés hors de l'eau, sur les parties non disjointes de l'ice-field, et parallèlement au chenal créé. Les bateaux brise-glaces hollandaie ont, en général, un fort tirant d'eau, et leur emploi n'est guère possible que dans les passes et cours d'eau ayant 5 m de profondeur environ.

En 1879-1880 et en 1880-1881, on avait pensé à faire servir l'éperon des monitors cuirassés au débâclage de certaines portions du réseau des voies navigables des Pays-Bas. Cette double expérience fit constater que ces navires de guerre sont peu aptes à accomplir des pareilles opérations.

Aux États-Unis semblable essai fut fait en 1896, avec succès de déglaçage mais avaries de machines des *men of war*.

Quant vint l'hiver 1892-1893, et devant les maigres résultats obtenus deux ans auparavant, et les frais énormes occasionnés par l'emploi des bateaux ordinaires à vapeur, les Ingénieurs du Waterstaat en Hollande résolurent de munir le vapeur *Wodan* d'un éperon-charrue, car on avait reconnu que ce vapeur, tout solide qu'il était, ne pouvait à la longue résister aux chocs incessants d'une glace dure transparente, et ayant de 25 à 45 cm d'épaisseur, et cela pendant plusieurs jours consécutifs (1).

L'éperon-charrue du *Wodan* fut construit de façon que l'appareil entier pût flotter en conservant la position dans laquelle il devait être fixé, ce qui était désirable à cause du poids relativement considérable, 5 000 kg, de l'objet en question. On fixa l'éperon-charrue au *Wodan* de telle façon que le bas de l'engin s'immergeait de 60 cm, de manière à pouvoir pousser l'éperon-charrue sous le champ de glace, afin de le briser par poussée de bas en haut, et non plus, comme on l'avait fait précédemment, au moyen de bateaux à vapeur venant heurter avec plus ou moins de force leurs étraves contre le champ de glace, afin d'y faire des crevasses et détacher les glaçons. Quelques armateurs munirent aussi, à leurs frais, leurs vapeurs de charrues à glace ; ainsi, le *Pernis* eut une charrue de forme et de cons-

(1) En 1894, le vapeur *Édouard-Lavoine*, du service du port de Rouen, fut employé à détacher, avec son étrave armaturée de tôles superposées « ad hoc », les glaçons des champs de glace. Le résultat fut plutôt mièvre et la machine du bateau en souffrit.

truction identique, à celle du *Wodan* tandis que les charrues à glace des vapeurs *Freya* et *Jason*, exécutées d'après les mêmes principes, étaient cependant moins lourdes et incapables de flotter.

Ces dispositifs donnèrent des résultats remarquables en augmentant les heures de travail utile, préservant les proues des navires (notamment les charrues du *Wodan* et du *Pernis*), et disloquant mieux les glaces (notamment les charrues du *Freya* et du *Jason*.

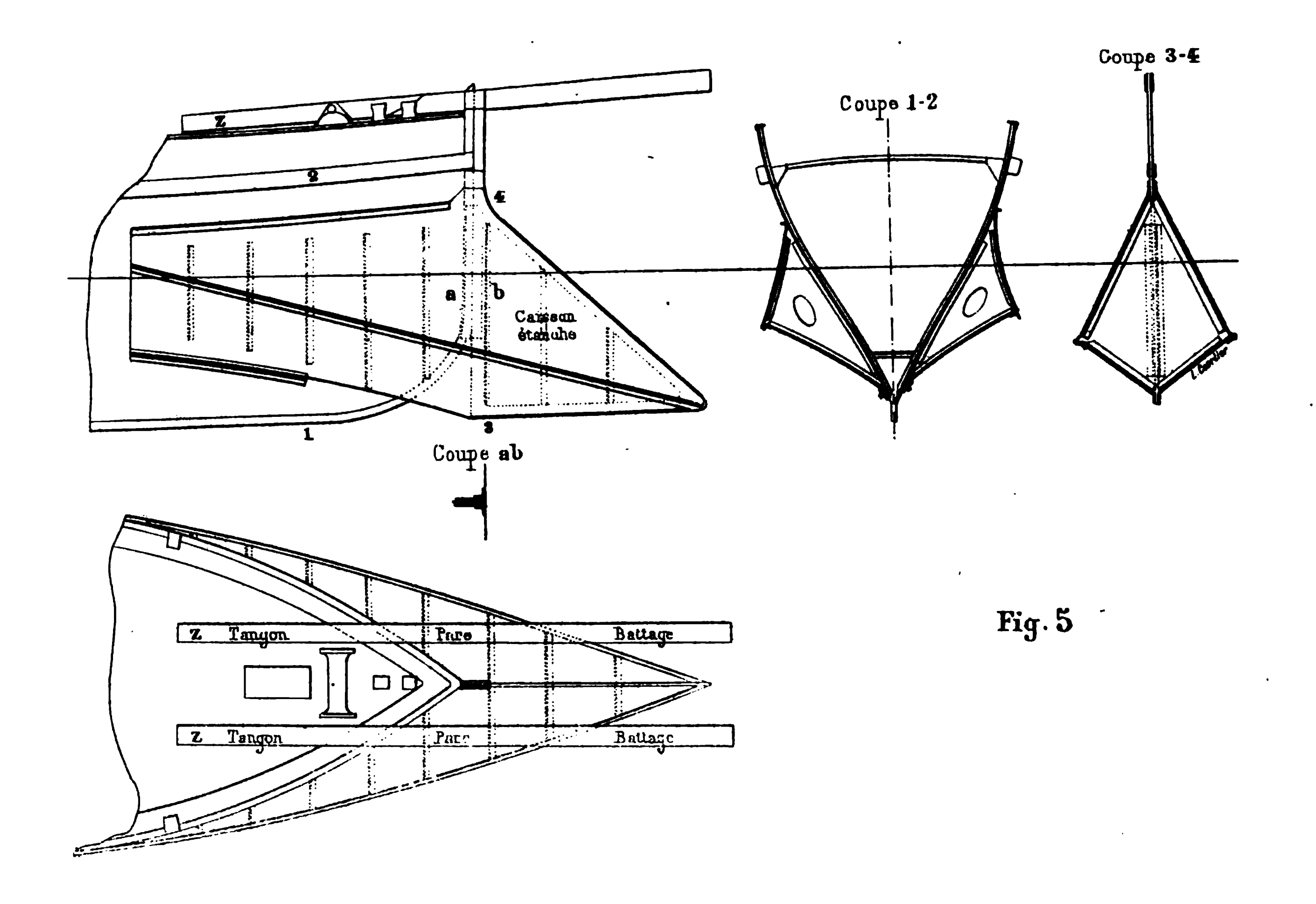
Tous ces bateaux avaient, sauf le *Pernis*, des hélices en acier.

Le *Wodan* eut relativement de minimes avaries dans ses roues; quelques palettes seulement se brisèrent sur les glaces. Cette campagne fut plus économique.

J'estime qu'il est avantageux de posséder deux charrues à glace sur le même point où l'on est dans la nécessité d'opérer; car, s'il survenait une avarie à l'un des engins, le travail n'en continuerait pas moins avec l'autre. Comme dans les débâclages, le temps est précieux, on ne saurait, en général, trop prendre de précautions pour éviter, dans la mesure du possible, les causes d'arrêt.

En raison de la forme spéciale du soc de la charrue à glace, on doit parer à la tendance qu'aurait cette charrue à s'apiquer diagonalement au plan d'eau, et dans le sens de la marche avant, au moment de la mise en route du propulseur. Pour remédier à cet inconvénient, s'il survenait, et qui pourrait déjauger le bateau de l'arrière, il conviendrait de lester l'arrière du vapeur de manière à racheter l'affaissement produit à l'avant, position qui, si elle était gardée, retirerait probablement au propulseur une partie de ses qualités. On l'a vu, cette charrue forme caisson flottant et éperon; son apiquage ne peut être très accusé, et d'ailleurs, sa forme spéciale verticale divisant aisément les filets d'eau atténue très sensiblement la tendance à l'affaissement du soc lors d'une marche rapide. Pour donner la stabilité convenable au moyen du lest mobile à l'ensemble du système, on ne peut procéder que par tâtonnements, car les charrues n'ont aucune relation comme taille avec les dimensions du bateau propulseur *(fig. 8, Pl. 174)*.

Parmi les phénomènes vraiment curieux que j'ai pu étudier sur le fonctionnement de la charrue à glace fixée sur une carène propulsée, j'ai noté de remarquables effets diviseurs disperseurs créés par les écoulements rapides des tranches liquides s'échappant vers l'arrière.


Coupe 3-4
Coupe 1-2
Z
2
4
a
b
Caisson étanche
1
3
Coupe ab
Z Tangon
Pare
Battage
Z Tangon
Pare
Battage
Fig. 5

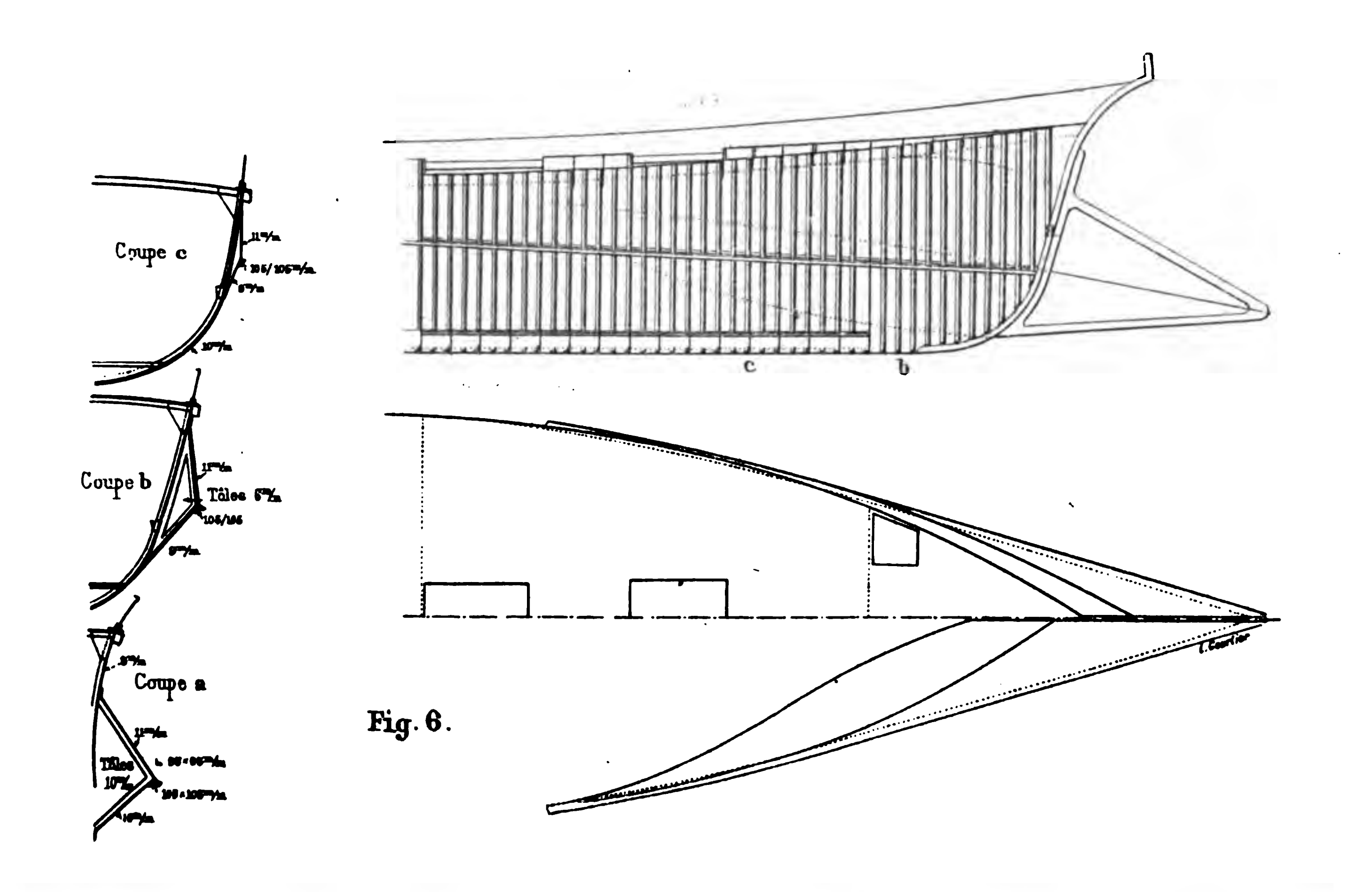


Fig. 6.

Le rejet de la lame d'eau glissant sur les faces externes mi-hélicoïdales des versoirs produit une sorte de cavitation derrière la cloison extrême arrière du caisson d'appui des dits versoirs, laquelle cloison est naturellement perpendiculaire à l'axe longitudinal de la carène du bateau, et prend contact et appui au droit d'une membrure des formes fines avant *(fig. 5 et 6)*.

Il en résulte, indépendamment du sillage ordinaire latéral et diagonal du mobile flottant en marche, un complément de sillage épicycloïde latéral, parallèle, et à toucher la ligne de flottaison. Ce sillage épicycloïde, grâce à son sens de révolution, éloigne avec force et très heureusement, vers le large, les glaçons détachés, demeurés immergés le long du bord ou non déversés sur l'icefield, alors qu'ils ont échappé à l'impression de direction amorcée par la courbure des versoirs.

Comme suite à divers rapports de mes travaux procédant de mes études de glaciologie, je fus appelé, cette année, par l'honorable Président du Syndicat de Protection hibernale des Voies de navigation en France, à faire partie d'une mission technique constituée sur l'initiative érudite de feu notre regretté et très éminent Collègue M. de Bovet, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur Civil des Mines, membre du Comité du Syndicat précité et qui avait pensé m'adjoindre à M. Lavaud, le distingué Ingénieur de la Société Générale de Touage et de Remorquage, pour nous rendre aux Pays-Bas.

Nous devions déterminer et préconiser l'appareil le meilleur, idoine aux opérations mécaniques de déglaçage sans explosifs.

Après séjour et études, notre choix se porta décidément et ainsi que je l'avais prévu, sur la charrue à glace.

Nous fîmes un avant-projet de deux modèles économiques : l'un constitué par deux immenses socs de charrues de terre, dites jumelles pour labourage mécanique et fabriquées spécialement pour leur emploi nautique, par les ateliers Bajac, à Liancourt, et montés aux ateliers de la Société Générale de Touage et Remorquage, à Conflans-Andrésy *(fig. 7)*.

L'autre, dont on trouve ici le dessin exécuté par M. l'Ingénieur Lavaud rappelle, comme on le voit, le type consacré des charrues à glace hollandaises *(fig. 8)*.

Ces modèles de charrues ont été présentées aux Ingénieurs des Services de la Navigation en vue de leurs essais d'utilisation officielle au cours de cet hiver, et s'il est besoin, entre Paris et Rouen. Ces modèles sont adaptés sur les étraves des remor-

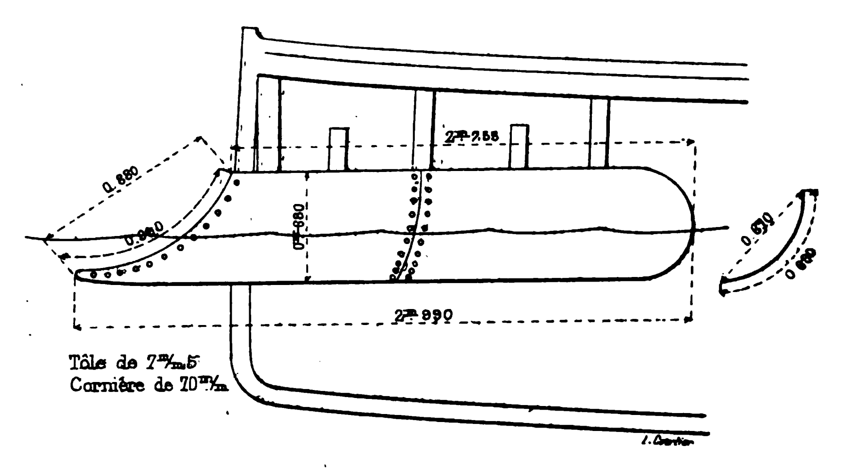


Fig. 7

h h h A
530 530 530 530 580 530 530 530
1.00
120-20
1.500
60-20
Flottaison du bateau en charge
g f e d c b
B C D
120-20
1.100
1.860
1.740
0.410 0.410 0.820
32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42
h A g f B e d C c D b

Fig. 8

queurs types *Guêpes* ou peuvent l'être sur d'autres vapeurs de tonnage et de puissance convenables *(fig. 9, Pl. 174)*.

Enfin, le Président de ce Syndicat a fait munir d'un avant-bec, brise-glace, écraseur, un flotteur propulseur à vapeur.

Ainsi, cet hiver, le Syndicat sera en mesure d'expérimenter, de concert avec les Ingénieurs de la Navigation, deux appareils établis sur des principes différents : la charrue qui opérera par division, soulèvement et rejet;

Et le brise-glace, qui procédera par écrasement.

A priori, il apparaît, d'après les expériences officieuses que nous fîmes récemment, que la charrue l'emportera de beaucoup sur l'écraseur. C'était à prévoir encore.

Le ministre des Travaux publics avait demandé à ce que les armateurs et entrepreneurs de transports par eau lui présentassent des appareils sincèrement pratiques autant qu'économiques, pour maintenir le plus longtemps possible, en temps de gel, la circulation entre Rouen et la capitale et Montereau, sinon entre la capitale et la mer.

Charrues à glace attelées.

A côté de ces charrues nautiques, il en est de véritables types terrestres, spéciales, qui sont employées en Amérique, dans le Minnesota, pour découper les immenses champs de glaces que forment en hiver les lacs d'eau douce voisins de Minneapolis et de Saint-Paul.

Ces charrues sont traînées par deux chevaux chacune. Préalablement au passage de l'attelage, on déblaye la neige qui peut recouvrir l'ice-field, si celui-ci est par trop couvert.

Une première charrue à soc très tranchant, de forme triangulaire très allongée, et munie de larges dents à sa partie inférieure, rappelant le couteau des moissonneuses mécaniques, passe d'abord. Un cadre en fer, parfaitement rigide, porte une douille verticale en métal, formant *coutre*, qui s'encastre dans la rainure, qu'avant le premier voyage de l'attelage on a eu soin de faire à bras d'homme, et aussi droite que possible, à travers le champ de glace, et constituant en quelque sorte le sillon initial.

Derrière la première charrue, en survient une seconde également traînée par deux chevaux. Le deuxième engin possède un

soc plus long et plus résistant encore que le premier. Le sillon-rainure qui n'était qu'amorcé à quelques centimètres de profondeur par l'outil nº 1, va se creusant jusqu'aux deux tiers de l'épaisseur du champ qui varie entre 20 et 40 cm. Les attelages continuent ainsi méthodiquement à rayer l'ice-field de rainures mathématiquement espacées et parallèles.

Des manœuvres munis de pinces, ou mieux d'anspects à becs fins, engagent ces becs dans les sillons et, faisant levier, détachent très rapidement de grandes bandes de glaçons, que d'autres hommes, munis de gaffes ou de crocs, font filer ou recueillent.

Bateaux écrase-glaces.

Dans l'emploi des bateaux brise-glaces, tels que ceux usités dans l'Allemagne du Nord, sur la Baltique, en Suède, en Norvège, en Finlande, en Hollande, types *Murtaja* et *Elbe*, le bateau monte sur l' « ice-field » et écrase la glace sous le poids de sa carène et celui du water-ballast mobile.

Déjà, contre les champs de glace de 0,75 m à 1 m d'épaisseur, on pourrait se servir avec succès du choc de bateaux à vapeur construits spécialement en vue de cet emploi. Il est évident qu'il faut des navires robustes dont toute la partie avant est solidement édifiée en métal résistant, tel que l'acier. On munira ces navires de deux ou trois compartiments à eau placés à l'avant et à l'arrière et permettant, en les remplissant par des procédés extra-rapides, et en les vidant de même, de faire varier vivement et à volonté leur tirant d'eau, soit à l'avant, soit à l'arrière.

Avant que le steamer prenne son élan contre les glaces, on admet l'eau dans le compartiment arrière de manière à relever le plus possible l'avant, construit à profil courbe accentué, forme cuiller, qui peut ainsi monter sur la glace. Si néanmoins la glace résiste à l'élan et au choc du bâtiment, on porte, au moyen du remplissage rapide des réservoirs d'eau le poids sur l'avant, et cette surcharge détermine la rupture de la surface congelée.

Ainsi que je viens de l'indiquer, parmi les spécimens les plus puissants de ce genre de navire, on peut citer précisément comme type le *Murtaja*, vapeur à hélice construit à Stockholm aux usines de Bergsund pour le compte du gouvernement finlandais. Le *Murtaja* est destiné à tenir ouvert, pendant tout

l'hiver, le port de Hango où la glace atteint 70 cm d'épaisseur moyenne. Ce steamer-bélier a facilement raison de ces masses résistantes et manœuvre à l'aise au milieu des chocs des énormes glaçons qu'il vient de détacher. Le *Murtaja* a une longueur de 47 m entre perpendiculaires, sa largeur est de 10,97 m, son creux de 7,60 m et son tirant d'eau arrière de 5,80 m; son déplacement est de 1 070 tx. Une machine compound de 300 ch de puissance, avec condenseur à surface, lui donne son impulsion. Le navire est divisé en compartiments étanches, dont les deux extrêmes forment les réservoirs d'eau nécessaires pour le mouvement de basculement mécanique. Tout autour de la coque règne un véritable cuirassement en fer, dont l'épaisseur est de 254 mm à la ligne de flottaison pour descendre à 158 mm dans les parties basses. Dans ses travaux de déglaçage contre des bancs de 70 cm d'épaisseur moyenne, la vitesse normale de ce vapeur était de 10 à 12 nœuds à l'heure (1).

Les chocs répétés de ces navires, outre qu'ils détachent des glaçons considérables, ont encore pour résultat de déterminer dans les champs de glace des fentes très étendues qui aident à leur dislocation générale.

QUATRIÈME PARTIE

Procédé express inédit de coupage de la glace.

Longuement, j'ai cherché à découvrir un agent chimique produisant par son contact avec la glace une réaction calorique intense, immédiate, permanente et d'application idoine à « rainer » les champs de glace, les attaquer en rainures étroites, profondes, et facilement tracées ou orientées dans le sens symétrique désiré ou choisi.

J'estimai que l'emploi d'un pareil agent devait gagner en efficacité d'accélération sur la main-d'œuvre humaine, voire même sur l'emploi des explosifs.

Pendant l'hiver de 1898, j'avais pensé à confectionner une sorte de chalumeau inspiré des appareils de production de la lumière Wells, alors usitée pour l'éclairage des chantiers noc-

(1) En Amérique on se sert de bateaux semblables à aubes.

turnes. Je me heurtai à des difficultés de mise au point qui me firent renoncer à user de mon appareil rustique pour les opérations de déglaçage, et en raison du peu de temps dont je disposais pour une étude plus approfondie.

Par la suite je songeai à tirer parti des avantages merveilleux des hautes températures, facilement localisables, des chalumeaux oxhydriques ou oxyacétyléniques, pour mes travaux de déglaçage.

Il n'est pas discutable que le contact d'une flamme, mince, très transportable, douée de propriétés caloriques énormes, devait être un auxiliaire infiniment précieux pour opérer les rainures sur les champs de glaces destinés à être ensuite fragmentés à ces rainures amorcées.

D'ailleurs, comme le foyer calorique du chalumeau à gaz a une intensité proportionnelle au débit des gaz, il est aisé de faire varier cette intensité en plus ou moins, selon les besoins des cas considérés.

A priori, il est à remarquer que l'effet du chalumeau est bien meilleur sur une glace assez épaisse, 20 à 22 cm que sur une glace plus mince, et que les rainures se forment beaucoup plus rapidement et plus nettement sur de la glace bien « sèche » s'il m'est donné de m'exprimer ainsi.

En un mot, il semblerait résulter que, plus l'air est sec et froid, plus on retire d'efficacité d'intervention du chalumeau coupe-glace.

Il m'a paru préférable de donner la préférence au chalumeau oxhydrique usité pour la soudure, parce qu'il contient de l'hydrogène en excès, qu'il est chimiquement inoffensif et neutre, et que sa température peut atteindre 2250 degrés. On voit que c'est ce type qu'il convient de préconiser parce qu'on a une marge considérable pour traiter la glace par contact calorique puissant et accéléré.

Je me suis enquis si les sociétés qui construisent actuellement les ingénieux chalumeaux à hydrogène et a oxygène, ou à oxygène et à acétylène, etc., avaient prévu l'application de leurs remarquables outils pour d'éventuelles interventions comme outillage nouveau, aux travaux de déglaçage, et j'ai constaté, en me référant aux prospectus, notices et guides du soudeur, que, ces Sociétés, spécifient de multiples emplois de leurs chalumeaux, mais *aucunement* celui pour lequel j'ai la priorité scientifique.

J'installai donc sur un châssis de traîneau mesurant 1,70 m × 0,80 m, en pitchpin, avec patins chêne, ferrés et rambarde-poussoir à l'A. R., un poste complet usité pour la soudure autogène, tel qu'on le trouve dans le commerce (1). Les deux bouteilles (oxygène comprimé à 150 kg et hydrogène même pression) étaient couchées, maintenues sur un ratelier les épousant et amarrées par des colliers à charnières vissés sur ledit ratelier. Chacune de ces bouteilles portait le régulateur « Pyrox » Oxhydrique à deux cadrans : l'un est celui d'un manomètre gradué jusqu'à 200 kg, indiquant la pression du gaz restant dans la bouteille ; l'autre indique le débit et est gradué en litres par minute, ce qui permet un réglage vraiment rapide et précis.

Sur la traverse avant du traîneau était vissée parallèlement une tringle en chêne de 0,04 m × 0,04 × 2,80 m, débordant en porte-à-faux de 2 m à gauche du traîneau. Cette tringle était haubannée rigide au moyen de trois fils de fer armés de tendeurs se rattachant à la pointe éxtrême haute recourbée du patin de gauche, à l'arrière du talon du même patin et à l'angle gauche du poussoir du traîneau. Les trois fils étant capelés à l'extrémité libre de la tringle dont la rigidité était ainsi assurée. A l'extrémité de cette tringle était fixé le chalumeau type Pyrox, à double tubulure, la buse bien amarrée de manière à porter l'orifice du jet de flamme à 3 cm au plus au-dessus du plan du champ de glace. La buse était reliée aux bouteilles par les 2 tubes souples de caoutchouc traditionnels.

Ainsi armé, le traîneau pouvait être aisément poussé par deux hommes cheminant très lentement mais sans interruption.

En plaçant la tringle débordante pour y fixer le chalumeau, mon intention était d'éviter que les hommes et le traîneau ne passassent à l'aplomb de la rainure faite dans la glace par le jet de flamme, et évitassent, ainsi, des chances de submersion par fragmentation inopinée de l'icefield entamé.

Une équipe suivait le traîneau, et, au moyen d'anspects, de masses et de poinçons, finissait de détacher les glaçons aux rainures. Il va de soi que traîneau et équipages devaient travailler en se suivant sous peine du regel rapide de l'eau décongelée des rainures. On évitait néanmoins ce regel rapide en semant du chlorure de sodium (vieux sel rebuté) dans les rainures.

(1) Poids du poste . . . . 125 kg } 163 kg
Poids du traîneau . . . . 38 }

Je ne puis que citer cette nouvelle application d'un poste oxhydrique, et je regrette de ne pouvoir encore indiquer des chiffres précis de vitesse d'avancement, de creuseent en longueur, profondeur et largeur des rainures, etc., faute de termes comparatifs que le dégel naturel m'a empêché de prendre. Ce sera pour plus tard. Il importait cependant, je crois, de mentionner néanmoins mon essai qui, *à priori*, établit déjà incontestablement une plus grande rapidité d'entamage de la glace qu'avec la main-d'œuvre humaine, et constitue une innovation bien moderne dans l'outillage nécessaire aux travaux généraux de coupage de la glace.

CINQUIÈME PARTIE

Emploi des explosifs.

J'examinerai rapidement dans ce qui suit l'emploi des explosifs sous formes de charges superficielles et immergées, ainsi que les procédés de mise de feu.

A Saumur, en 1879-80, on fit détoner une file continue de cartouches de dynamite n° 1 ficelées bout à bout sur des tringles, soit une longueur totale de 150 m et un poids de 100 kg d'explosif employé pour toute l'opération. La banquise présentait une épaisseur de 1 m et, après l'explosion des charges, on constata des fissures nombreuses rayonnantes et un sillon de 40 cm de profondeur moyenne à l'aplomb des tringles supportant l'explosif.

Quand on se rend à Bougival, on voit que le bras gauche de la Seine est barré par la machine et la chute de Marly, et un peu en amont par une passerelle destinée au service de l'écluse de Bougival. Déjà, en 1879-80, les glaçons amoncelés en une formidable embâcle dans cet endroit resserré, firent couler à fond, au moment de la débâcle occasionnée par le dégel, de nombreux bateaux et chalands immobilisés dans ce petit bras, où ils avaient primitivement cherché un refuge. Il fallait éviter le retour de semblables sinistres en pareilles circonstances et on employa donc, en 1890-91, sur ce petit bras de la Seine, recouvert d'un « ice-field » de 30 cm d'épaisseur, un chapelet de pétards de mélinite ou d'explosifs Favier espacés de 1 m envi-

ron et reliés par du cordeau détonant. Les pétards avaient été préalablement déposés dans une rainure faite de main d'homme et à une profondeur moyenne de 10 cm. Une fois les charges placées, on en effectua le bourrage en les recouvrant de neige. Après l'explosion, on constata une coupure continue de 3 m de longueur, ce qui constituait déjà un petit chenal qu'on élargit rapidement. Grâce à ces travaux préparatoires, la débâcle s'opéra le 26 janvier 1891, sans accidents.

Dans les deux exemples cités, on peut considérer les résultats acquis comme très bons. Les fissures peuvent ne pas se propager toujours aussi bien et, pour obtenir un résultat satisfaisant, il devient utile de se servir d'une ligne ininterrompue de pétards. C'est ce qui eut lieu pour une embâcle qui avait pris naissance le 10 janvier 1891 en amont du pont-route de Conflans-Andrésy. L'existence de cette banquise constituait un danger très sérieux pour ce pont, ainsi que pour celui du chemin de fer et pour le barrage d'Andrésy, situés en aval. Au moment de la débâcle, en effet, une telle barrière s'opposant au passage des glaces supérieures en descente, eut pu retenir momentanément les masses d'eau et de glaces venant de l'amont, pour les laisser se répandre ensuite avec une irrésistible impétuosité, à l'instant où la pression atteignant son maximum d'intensité eut dépassé les limites de résistance de cette barrière. C'était la destruction certaine des ouvrages d'art et des nombreux bateaux amarrés à la rive et emprisonnés à cet endroit. Le Génie militaire avec le service des Ponts et Chaussées procéda aux opérations de rupture de l'embâcle.

Avant de s'attaquer à l'embâcle du pont-route, on rendit libre le bief entre celui-ci et le pont du chemin de fer, car la glace aurait pu s'opposer à la descente des glaçons détachés de l'embâcle. On disloqua cette nappe de glace de 10 cm d'épaisseur au moyen de files de pétards de mélinite (135 g) espacés de mètre en mètre et reliés au moyen de cordeau détonant. Les blocs de glaces détachés étaient ensuite débités à la hache par une équipe de mariniers embauchés à cet effet.

Une fois ce passage ouvert, commença le travail de rupture proprement dit : on s'occupa de dégager la première travée de la rive droite, soit le quart de la largeur du fleuve, où la glace ayant 50 cm d'épaisseur ne se présentait pas néanmoins sous forme d'embâcle jusqu'à environ 100 m du pont, alors que sur les trois autres quarts l'épaisseur était de 1 m.

On commença bien entendu par l'aval, en pratiquant une coupure à la hache dans la glace, de façon à isoler un bloc rectangulaire d'environ 10 m de longueur (dans le sens du courant), sur 15 m de largeur. Pour amorcer les lignes de fragmentation, on creusa à la hache cinq rainures en recoupement sur la surface du bloc; chacune d'elles recevait en son centre un pétard de 200 g d'explosif Favier, posé à plat et recouvert d'un bourrage de sable. On reliait ces pétards au moyen de cordeau détonant à la mélinite, et le feu était donné au moyen d'un bout de Bickford et de capsules de fulminate de mercure.

Les résultats après l'explosion étaient parfaits, et le bloc fragmenté était aussitôt entraîné par le courant. Les plus sérieuses difficultés furent celles que l'on rencontra à la coupure de l'embâcle proprement dite. J'ai mentionné qu'à cet endroit l'épaisseur moyenne de la banquise dépassait 1 m, et les chapelets de cartouches étaient insuffisants pour déterminer un sectionnement complet des parties congelées. On eut recours à de véritables fourneaux de mines creusés à une profondeur de 1 m environ et qui étaient chargés de 2 500 g d'explosif Favier, constitués par des cartouches en nombre suffisant reliées à une tringle et recouverte d'un bourrage de sable. La mise de feu était faite au moyen de l'électricité (amorces de fulminate disposées pour l'inflammation électrique et coup de poing électrique, ce dernier fonctionnant sur la rive). La gerbe de l'explosion atteignait une trentaine de mètres, en produisant un entonnoir de 3 m de rayon, recomblé par les débris de l'explosion, et fractionnait encore la glace au delà de ce rayon, de telle sorte que les sapeurs et les mariniers détachaient à la gaffe des blocs de fortes dimensions qu'ils envoyaient au fil du courant.

Sous ces glaçons en marche se dégageaient d'énormes quantités de « bousin ».

Quand ces glaçons présentaient un volume par trop considérable, ils étaient brisés de suite par la projection à leur surface d'un pétard de mélinite dont le cordeau porte-feu était allumé préalablement sur la berge.

En une semaine on ouvrit ainsi un chenal de 70 m environ de largeur et de 300 m de longueur. Le cube déblayé représentait 10 000 m de glace; on consomma 160 kg environ d'explosif.

La débâcle eut lieu dans la nuit du 24 au 25 et aucun des nombreux bateaux amarrés à la rive n'eut à souffrir, pas plus que les ouvrages d'art.

Je me suis particulièrement étendu dans le compte rendu de cette opération, par cela même qu'elle représente une sorte de résumé de l'emploi des charges superficielles pour ces travaux spéciaux, et que ce déglaçage, à Conflans, présente, en somme, les conditions les plus ordinaires vis-à-vis desquelles l'Ingénieur peut se trouver.

Sur le Rhône, le service de la navigation s'adressa directement à la Société française des Poudres de sûreté, qui se chargea elle-même de la rupture des embâcles; à Lyon, sous les ordres de l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, M. Girardon, et au pont d'Avignon, sous les ordres de M. Armand, Ingénieur ordinaire.

Dans la pratique, l'emploi des charges superficielles ne donne qu'un résultat relativement faible.

Ce résultat est bien meilleur si l'on emploie les charges immergées formant torpilles, dont elles ont tous les effets augmentés du coefficient de l'excellent bourrage donné par la glace qui double au moins les effets propres du bourrage fourni déjà par la masse liquide.

Les effets intérieurs d'une explosion sous-aquatique consistent en une commotion violente que subissent les points circonvoisins de la charge immergée. Ce mouvement de trépidation, dont le mouvement s'étend loin, résulte de l'expansion des gaz de la matière explosive, lesquels frappent brusquement et refoulent de toutes parts le milieu dans lequel ils se développent. L'eau étant un milieu incompressible transmet aussitôt choc et refoulement dans toutes les directions. Cet ébranlement se propage dans la masse liquide avec une vitesse de 1 400 m à la seconde, et donne ainsi naissance à une onde dont la puissance décroît proportionnellement au carré de la distance. On a donc intérêt, dans ces conditions, à immerger à une faible profondeur dans le liquide les charges que l'on veut faire détoner sur le champ de glace, de manière à bénéficier simplement d'un bourrage naturel suffisant donné par le liquide incompressible, obtenir une onde convenable à la dislocation de la surface congelée, tout en permettant à l'énergie des gaz développés d'opérer le bris le meilleur des glaçons, et celà en ne perdant pas de vue qu'on doit cependant employer l'explosif avec économie.

Comme on opère souvent dans le voisinage des bateaux, il convient de limiter les effets des charges immergées à des rayons relativement restreints; car il est important de ne pas oublier

que cette commotion intérieure produite au sein du liquide et due à la puissance de détente des gaz est loin de constituer un phénomène inoffensif pour les corps plongés. Jusqu'à une certaine distance du centre d'explosion, distance qu'on peut appeler le rayon de rupture, l'onde de refoulement fait brèche aux corps plongés; par delà cette zone et jusqu'à d'autres limites, elle les écrase ou y cause des avaries.

On le voit, si ces phénomènes sont avantageux pour le bris des glaces, il n'en est pas de même pour les coques des bateaux et navires qui pourraient se trouver dans le rayon de rupture. C'est pourquoi, tout près d'une carène, on ne saurait se servir, sans risques graves, de charges immergées pour les travaux de déglaçage; il faudrait recourir aux charges superficielles, ou aux procédés mécaniques ou chimiques.

Il me paraît assez difficile de fixer exactement les limites de la zone dangereuse développée à l'issue d'une explosion de charge immergée, et ces lois ne sauraient se condenser en formules algébriques; la charge immergée, le milieu, l'épaisseur des glaces, la distance des corps plongés à la charge, sont autant de facteurs des plus variables.

Il me semble ardu de procéder autrement que par « expérience » pour trouver le rayon du cercle dangereux. Toutefois, il est à noter que les effets latéraux d'une charge immergée sont moindres que les effets verticaux.

Avec les explosifs employés ou fournis par le Génie militaire, à la requête du Génie civil, les dépenses sont relativement élevées. Les particuliers visent à l'économie. Aussi des explosifs à bon marché et destinés néanmoins à produire des résultats d'une puissance presque égale aux explosifs de guerre, comme les poudres de sûreté inventées par le colonel du Génie Favier, qui prennent rang parmi les hydrocarbures nitrés (azotate d'ammoniaque et nitro-naphtaline), sont-ils prisés par le commerce et l'industrie.

La dynamite ou nitroglycérine a le grave inconvénient de geler à + 8 degrés, ce qui, à des températures de — 10 à — 16 degrés, en rend le transport des plus dangereux.

Généralement on suppose à tort qu'il est de toute nécessité de faire dégeler la dynamite pour s'en servir d'une façon efficace. J'ai vu mes hommes chauffer les cartouches dans leurs poches. Ces opérations de dégel de la dynamite présentent de graves dangers et sont toujours longues. On s'en affranchira purement

et simplement en amorçant les cartouches avec des capsules de fulminate à 2 gr.

Comme, ainsi que je l'ai vérifié maintes fois, les effets dynamiques des poudres de sûreté Favier répondent largement aux besoins quelconques créés par les travaux spéciaux de déglaçage qui m'occupent, et que ces explosifs ont l'avantage sur la dynamite d'être insensibles à la gelée, et sur la mélinite de ne coûter que 3 f à 3,50 f le kilo, je les préconise infiniment. Ces poudres peuvent être transportées sans aucun soin spécial.

Les explosifs Favier, qui, sous l'action d'un corps enflammé, demeurent inertes et qui résistent aux chocs violents, ne détonent que sous l'influence de capsules ou de détonateurs au fulminate de mercure.

Les détonateurs pour les poudres de sûreté Favier sont calculés à raison de 1 gr minimum de fulminate de mercure. L'amorçage des cartouches se fait comme avec les cartouches de dynamite, en pratiquant un trou au centre de la matière pulvérulente contenue dans le milieu de la cartouche, après avoir relevé les bords du papier extérieur qui enveloppe cette dernière et en y enfonçant complètement la capsule. On fixe ensuite la mèche ou papier au moyen d'une ficelle. On doit mettre le détonateur dans une cartouche entière, afin d'avoir une énergie initiale plus puissante. Il n'y a pas à craindre l'inflammation préalable du produit par le contact de la mèche, comme avec les dynamites, les poudres Favier étant incombustibles. On peut donc enfoncer le détonateur aussi profondément que possible; il se trouve ainsi mieux préservé contre les chocs dans le bourrage à sec.

La conservation des explosifs Favier ne réclame comme précautions que de les emmagasiner dans des locaux non humides, de disposer les caisses sur des traverses ou chantiers, et de ne pas ouvrir les cartouches.

En cours de travaux de déglaçage, les ratés ne proviennent pas, la plupart du temps, de l'explosif, mais bien des détonateurs ou capsules de fulminate qu'on a eu le tort de laisser imprégner d'hmidité ; il est donc de toute nécessité de conserver les capsules parfaitement au sec, et d'éviter en les manipulant de les heurter ou d'y laisser introduire des corps durs dont le moindre inconvénient serait de faire éclater la capsule entre les mains de l'opérateur. sinon de le blesser grièvement lui-même.

Pour les charges immergées, on peut également employer la

poudre noire ordinaire. C'est ce que je fis pour briser des glaces de 21 cm environ d'épaisseur, presque uniforme, dans un bassin de 3,025 m de superficie. Je fis prendre des bouteilles dites de Saint-Galmier, qui représentent une capacité de 95 cl environ, et dans lesquelles on déposa 600 g de poudre noire. On fermait ces bouteilles au moyen de bouchons de liège commun, perforés à la queue de rat pour le passage du Bickford imperméable, dont un bout était noyé dans la poudre. On coiffait le bouchon d'une enveloppe de mastic de vitrier, l'unissant intimement au cordeau porte-feu qui le traversait à frottement dur, au goulot. Un fil de fer formant boucle était serré au col de la bouteille que l'on accrochait, après avoir allumé le bout libre de Bickford, à un croc fixé à l'extrémité d'une gaule de 6 m environ. Un trou à bord en sifflet était creusé à la hache et à la pioche dans la glace, un peu en arrière de la partie que l'on cherchait à briser. On introduisait cette gaule, en l'inclinant le plus horizontalement possible, sous le champ de glace, en poussant aussi loin qu'on le pouvait le trou d'entrée, la bouteille toujours accrochée. La longueur du Bickford était calculée pour une minute de combustion. La partie émergeante était terminée par un œil de pie en filin, auquel on fixait le crochet d'un sac de sable, pour maintenir cette gaule le plus près possible de l'horizontale et la retenir sur le champ de glace.

L'explosion, en se produisant, disloquait la surface congelée sur un rayon de 6 m environ et la fendait dans un périmètre double. On pourrait opérer de même en eaux courantes et obtenir des résultats aussi satisfaisants.

Les opérations de débâclage à l'aide d'explosifs peuvent être tellement urgentes, qu'on n'ait pas le temps de s'approvisionner d'explosif spécial, d'artifices de mise de feu et de matériel idoine. Néanmoins, il faut intervenir sans aucun retard, sous peine de désastre irrémédiable. C'est l'instant de mettre à contribution les plus maigres ressources locales pour la création de munitions et de matériel de circonstance.

Surpris par un mouvement nocturne des glaces en Meuse et dépourvu des approvisionnements habituels des caissons, je réunis ce que je pus trouver de poudre fine noire, sollicitée chez les paysans chasseurs du voisinage, soit 1 900 g environ. Je trouvai une vessie de porc assez fraîche et un tube de 1,60 m de long, en fer, servant à souffler le feu des âtres de chaumières. Je remplis la vessie avec la poudre et fixai cette vessie après le

tube métallique en serrant fortement le muscle avec de la ficelle à fouet bien suifée. Un trou fut rapidement foré dans le champ de glace, épais de 17 cm en aval du pied de l'embâcle ayant 1,80 m d'épaisseur et 14 m de largeur.

Le tube fut coulé jusqu'à affleurement du bout libre sur le champ de glace et la charge touchant l'embâcle. Un morceau d'amadou boucha l'orifice supérieur du tube. Je mis le feu à l'amadou, et me retirai en hâte. Vingt-huit secondes après, une détonation sourde retentissait et l'embâcle rompue s'écroulait et dévalait au courant. Trois bateaux étaient ainsi préservés.

Avant de se servir du Bickford, il faut toujours avoir soin d'en vérifier le bon état, notamment, qu'il n'est pas écrasé à certains endroits, et qu'il n'existe pas de solutions de continuité. Il est bon de faire brûler à l'air libre une longueur de 1 à 2 m prélevés sur le paquet de Bickford, qu'on se dispose à mettre en œuvre, et d'en vérifier ainsi préalablement la vitesse de combustion.

On peut laisser séjourner cette fusée imperméable sous l'eau pendant plusieurs jours. Elle offre donc d'excellentes garanties pour la mise de feu aux charges immergées quelques secondes, et destinées à la dislocation des champs de glace.

Pour mettre le feu à une charge, on coupe un morceau de Bickford de longueur convenable, pour permettre à la personne de s'éloigner avant l'explosion, en se basant sur la durée de combustion de un mètre en 90 secondes. Dans la capsule de fulminate, on enfonce le bout de Bickford jusqu'à refus, et à toucher le fulminate. On enfonce ensuite la capsule ainsi amorcée dans la charge préalablement renfermée dans un récipient clos quelconque, étanche, et en ayant soin d'assembler, au moyen d'un peu de mastic Chatterton, la partie du Bickford passant par le col dudit récipient.

L'emploi du Bickford est, à mon avis, le meilleur procédé pyrotechnique de mise de feu.

Dans les procédés électriques pour la mise de feu, le mieux, en raison des conditions atmosphériques dans lesquelles on se trouvera l'hiver, est, pour produire le potentiel électrique, de ne pas se servir de piles qui nécessitent un liquide excitateur susceptible de geler lui-même. A cause de ce gros inconvénient, il faut avoir recours de préférence à un appareil magnéto-électrique pour la mise de feu aux amorces. Tel est l'exploseur

coup-de-poing, qui fonctionne convenablement par tous les temps et qui est d'un poids peu élevé.

Le courant d'induction produit étant un courant de haute tension, la distance entre les amorces, par conséquent entre les fourneaux ou les cartouches et l'exploseur, n'a plus d'importance et peut être considérable sans inconvénient. L'exploseur du petit modèle, pesant 2,750 kg, peut enflammer deux amorces, le modèle moyen, pesant 8,500 kg, enflamme huit amorces; le grand modèle, du poids de 10,500 kg, enflamme douze amorces. Le modèle moyen nous semble le plus pratique.

Il faut toutefois bien soigner les ligatures des câbles conducteurs avec les amorces, pour bien assurer les contacts; il sera bon d'aviver, en les grattant avec un couteau, les bouts dénudés des fils destinés à être reliés ensemble; les ligatures doivent être ensuite recouvertes de feuilles isolatrices en gutta-percha, en baudruche ou en papier, pour éviter leur contact avec le sol ou la glace.

Il faut avoir soin de tirer le moins possible sur les fils des amorces, sous peine de les arracher ou de détériorer l'amorce. J'ai indiqué précédemment que les amorces de fulminate doivent toujours être tenues à l'abri de l'humidité.

En ce qui a trait à la grosseur des fils conducteurs, on se trouvera bien d'employer les dimensions suivantes :

Le fil en cuivre rouge destiné à relier les amorces entre elles aura cinq dixièmes de millimètre et sera recouvert de substance isolatrice (gutta) de deux millimètres. Les fils en cuivre rouge destinés aux conducteurs maîtres auront sept à neuf dixièmes de millimètre et seront, en outre de leur enveloppe isolatrice en gutta, recouverts d'un guipage en coton. Il est plus commode de se servir de conducteurs doubles, c'est-à-dire placés côte à côte, isolés, et réunis par un guipage de coton.

Les amorces électriques sont confectionnées comme les amorces ordinaires au fulminate, mais avec l'adjonction d'une certaine quantité de fulmi-coton, dans lequel est noyée la spirale de platine destinée à rougir au moment du passage du courant.

Règle des Déglaceurs.

En ce qui concerne le calcul des charges, il convient de rappeler ici la règle des mineurs qui devient celle des déglaceurs :

« *Pour obtenir en kilogrammes la charge d'un fourneau ordinaire dont* » *la ligne de moindre résistance* h *est donnée en mètres, faire le cube de* » *cette longueur et multiplier le résultat ainsi obtenu par un coefficient* g » *qui dépend de la nature du terrain.* »

Cette règle se traduit par l'expression $c = gh^3$.

On comprend que, pour la glace, il y ait beaucoup d'incertitude dans le choix du coefficient d'un milieu aussi variable. Dans une très remarquable étude militaire du cassage des glaces, M. le Colonel du Génie Bertrand dit que si l'on opère par fourneaux ordinaires dans une banquise, de manière à former une ligne d'entonnoirs jointifs, on peut essayer la formule $c = gh^3$, où c étant exprimé en kilogrammes et h en mètres, g est égal à 1 pour la poudre et à 0,5 pour la dynamite, et il ajoute que cette formule suppose que le bourrage est exécuté dans de bonnes conditions.

Je crois que, pendant les fortes gelées et avec l'emploi de la poudre, on peut assimiler la glace à la mauvaise maçonnerie et, dans ce cas, $g = 3$, ce qui, pour un fourneau placé à 1,50 m de profondeur dans une banquise de consistance égale à une maçonnerie de qualité inférieure, donnerait une charge de 10,10 kg de poudre par fourneau, et à 1 m de profondeur 3 kg.

Pour les explosifs Favier, on calculera les charges en se basant sur les proportions suivantes :

1° Pour 1 en poids de dynamite n° 1, prendre 1 en poids d'explosif Favier n° 1 ;

2° Pour 1 en poids de poudre comprimée n° 1, prendre 1/3 à 1/2 d'explosif Favier n° 1 ;

3° Pour 1 en poids de poudre en grains n° 1, prendre 1/4 à 1/3 d'explosif Favier n° 1.

Il faut, en bourrant, éviter d'écraser les cartouches, ce qui en augmenterait la densité.

Les chiffres ci-après, indiquant la sensibilité des explosifs Favier à l'action du fulminate de mercure, en raison de leur

densité, montrent combien il est important de ne pas augmenter la densité de l'explosif dans le fourneau.

A une densité de :

1	l'explosif	exige	une capsule de 0,75 g	de fulminate,
1,10	—	—	1,25	—
1,20	—	—	1,50	—
1,25	—	—	2,00	—
1,30	—	—	3,00	—
1,40	—	—	3,50	—
1,45	—	—	4,00	—
1,50	—	—	5,00	—

On voit que si, par une compression mal comprise, on donne à l'explosif à une densité de 1 une densité de 1,50, au lieu d'une capsule de 0,75 g de fulminate il en faudra une de 5 g !

Pour donner le feu au même instant à plusieurs charges ou fourneaux, il faut compasser les feux, c'est-à-dire s'organiser de manière que, du point de départ de mise en feu jusqu'aux charges ou fourneaux, le développement du cordeau Bickford

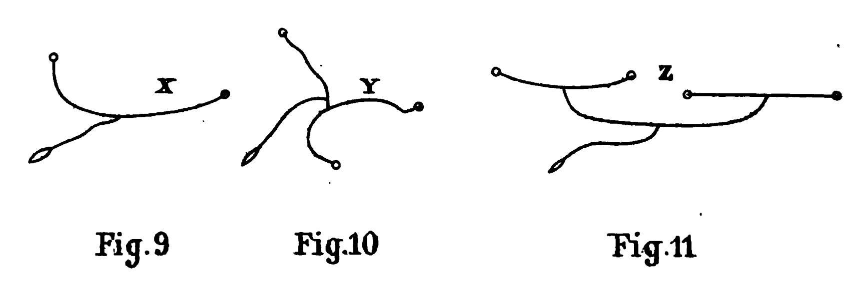


Fig. 9 Fig. 10 Fig. 11

soit le même, de façon que les charges explosent simultanément. On pourra se servir des dispositifs suivants (*fig. 9, 10 et 11*), en évitant les angles droits et les coudes trop accentués, qui seraient des causes retardatrices dans la progression régulière de la combustion du Bickford, dont on n'oubliera pas qu'elle est de 1 m en 90 secondes. Dans les raccords, on veillera avec le plus grand soin à ce que les parties de Bickford en contact soient parfaitement réunies, ligaturées et recouvertes, de manière à éviter toute solution de continuité de la fusée porte-feu.

Pour les explosions simultanées par l'électricité, deux procédés peuvent être utilisés :

1° La méthode du circuit unique, où les amorces sont placées dans le même circuit et le même courant les traverse toutes.

C'est le moyen qui sera le plus usité dans les travaux de déglaçage ;

Exemple *(fig. 12)* :

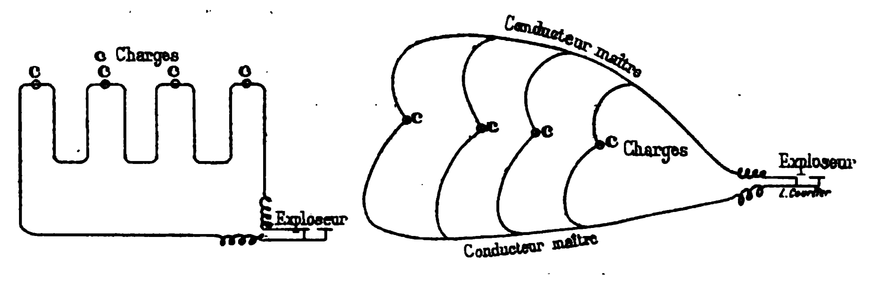


Fig.12

Fig.13

2° La méthode des circuits dérivés, où chaque amorce est placée dans un circuit particulier formé par les conducteurs secondaires qui y aboutissent et que l'on relie aux deux conducteurs-maîtres en formant ainsi une succession de dérivés.

Exemple *(fig. 13)* :

Conclusion.

En résumé, la glaciologie est, à mon sens, une nouvelle branche de l'art de l'Ingénieur.

J'ai tenté de montrer que cette science n'est pas négligeable.

Les luttes contre les glaces de toutes formations et provenances sont fort attrayantes.

Les décisions rapides que le technicien est obligé de prendre pour préserver les individus et les choses, comme aussi pour mener à bien les tâches ardues qui lui sont imposées ou confiées, sont éminemment favorables aux conceptions intelligentes et industrieuses guidées par l'esprit de suite mathématique et la perspicacité pratique.

LA

TRACTION ÉLECTRIQUE DES BATEAUX SUR LES CANAUX

PAR

M. P. du BOUSQUET

Les moyens employés pour tractionner les bateaux sur les rivières et canaux peuvent se ramener à trois : le remorquage, le touage, le halage.

Le remorquage est le système indiqué pour la traction sur les lacs et les rivières à faible courant. Sur les canaux de dimensions courantes, il présente de graves inconvénients au point de vue de la conservation des berges. Est-il besoin de faire remarquer, d'ailleurs, qu'en prenant appui sur un milieu fluide, l'eau, l'engin moteur dépense une partie importante de l'énergie à créer des mouvements inutiles au sein de la masse liquide ; le rendement du remorqueur doit être *a priori* très inférieur à celui du tracteur de halage.

Le touage, si heureusement perfectionné par notre regretté collègue, M. de Bovet, est appliqué avec succès pour la remonte des rivières et pour la traction dans les grands biefs. Là au contraire où les écluses sont rapprochées, les difficultés d'accrochage et de décrochage de la chaine compliquent singulièrement la manœuvre et le système qui s'impose sur la majeure partie des canaux, c'est le halage, c'est-à-dire la traction du bateau par un moteur, animé ou non, prenant appui sur la berge.

Une attelée de deux chevaux traine sur nos canaux une péniche chargée, à la vitesse de 1,5 à 2 km à l'heure. Ce n'est pas vite : le pénichien s'en serait contenté, s'il était toujours sûr de trouver un charretier pour le trainer et le mener régulièrement à destination. Il n'en est jamais ainsi là où le halage est libre ; même quand ce mode de traction est monopolisé et réglementé,

il est loin de donner satisfaction; le moteur animé travaille toujours près de sa limite de puissance; il n'est pas possible aux époques de fort trafic, d'augmenter le nombre de bateaux traînés par une attelée ou d'accroître la vitesse de remorque, et l'encombrement se produit fatalement.

C'est ce qui arrivait périodiquement sur les canaux du Nord, au moment de la quinzaine de Sainte-Barbe ou après le chômage des canaux ou encore, après les gelées et les neiges d'hiver qui interrompaient le mouvement des bateaux. Il devenait impossible de dégager les canaux encombrés, et c'est alors que les haleurs, ayant la partie belle, exigeaient des mariniers des prix excessifs.

Lenteur, irrégularité, manque d'élasticité, instabilité des prix, tels sont les inconvénients graves qui ont fait condamner le halage par chevaux sur les voies à fort trafic.

Rien ne paraît plus simple que de remplacer ce moteur animé par un moteur mécanique. Et, cependant les insuccès furent nombreux et longs les tâtonnements avant de trouver le tracteur approprié au service à remplir, insuccès dus la plupart du temps à ce que le problème fut mal posé.

En dernier lieu, le halage par locomotive à vapeur, fut abandonné, après un essai de plusieurs années sur les canaux d'Aire et de la Deûle.

Étant donnée la faible puissance individuelle des engins de traction, le moteur électrique devait apporter la solution économique de la question.

En 1895, on vit en effet apparaître le « cheval électrique » de M. Galliot, dont les expériences sur le canal de Bourgogne attirèrent l'attention de tous les Ingénieurs de la navigation. Son « cheval électrique » est une sorte de petite locomotive routière automobile, qui circule sur le chemin de halage, sans rails, et hale le bateau à une vitesse de 2,5 km à 3 km. C'est un véhicule à trois roues, constitué par un châssis en fer à ⊔ à l'avant duquel est placée la roue directrice; cette roue est commandée de la cabine placée à l'arrière. L'essieu moteur est actionné par un moteur bipolaire de 5 à 6 ch par l'intermédiaire d'une roue dentée qui engrène avec une vis sans fin en bronze.

Le cheval électrique emprunte le courant à un conducteur fixe aérien à l'aide d'un chariot roulant, relié à la dynamo réceptrice par un conducteur flexible.

A la suite du succès de ces tentatives, MM. Denèfle et Cie,

constituèrent une société de traction électrique sur les canaux, qui obtint l'autorisation d'employer les procédés mécaniques de M. Galliot à l'exploitation d'une longueur de 43 km de canal, de Béthune vers Douai.

Les débuts de l'expérience furent difficiles par suite, notamment, des imperfections de la voie navigable sur laquelle la Société avait été autorisée à s'installer. Elle put, cependant, en perfectionnant son matériel, assurer, depuis la fin de 1898, un service régulier en toute saison.

L'Administration jugea les résultats de cette exploitation assez satisfaisants pour autoriser la Compagnie à prolonger son service jusqu'à Courchelettes, origine du canal de la Sensée, soit en tout sur 55 km.

Le tricycle de la « Société de Traction sur les Canaux du Nord », qui assure encore aujourd'hui le halage sur le canal d'Aire, dérive directement du tracteur Galliot, mis en essai sur le canal de Bourgogne ; mais le bâti et les principaux organes ont été renforcés ; le moteur électrique peut donner 12 à 15 ch ; il est commandé par un coupleur à cinq touches permettant de réaliser les diverses phases du démarrage ; son poids total atteint 2 900 kg. *(fig. 1, Pl. 175).*

Le poids sur l'essieu moteur ou poids adhérent est de 1 920 kg; l'effort de traction sur point fixe dépasse 1 000 kg.

Le coefficient de traction n'est que de 0,035 ; le roulement est satisfaisant.

Dans les premières expériences, le rendement mécanique du tracteur s'élevait de 50 0/0 à 55 0/0, et le rendement global à 40 0/0.

Les essais effectués, en 1900, sur le canal de la Dérivation de la Scarpe, autour de Douai, montrent qu'un tricycle traînait un bateau à la vitesse de 2,700 km et deux bateaux à la vitesse de 2,300 km. Ces expériences, effectuées sous la haute direction de M. l'Ingénieur en chef La Rivière, sont reproduites dans son rapport au Congrès de Milan (1).

Pendant quatre années, de 1900 à 1904, le tracteur sur berge allait assurer seul le service des voies navigables entre Béthune et Courchelettes, dans des conditions qui représentaient une

(1) Voir rapport de M. l'Ingénieur en chef La Rivière au Congrès de Milan, p. 14.

très grande amélioration sur celles du passé. En 1903, le trafic sur ces voies atteignait, en remonte seulement, 2 276 816 t.

A la même époque, M. Léon Gérard installait un service de halage le long du canal de Charleroi à Bruxelles, sur 16 km de longueur, avec des quadricycles sur berge du genre des tricycles Galliot-Denèfle, mais établis sur des données différentes. Deux types avaient été construits, sur les indications et dessins de M. Léon Gérard : le premier, à bâti en fonte, pesant 2 300 kg, sortait des Ateliers de la Sambre ; le second, en tôle d'acier, des Ateliers de Marcinelle et Couillet.

Chacun d'eux est à quatre roues, dont deux roues directrices et deux roues motrices, moteur à courant triphasé. Comme organe de transmission, M. Gérard avait remplacé la vis sans fin du tricycle Gaillot par une chaine Galle et un train d'engrenages.

Ces engins, bien étudiés, auraient pu donner de bons résultats ; malheureusement l'application de ce système sur le canal de Charleroi se heurtait à deux graves difficultés : d'une part, le mauvais état du chemin de halage, dont les travaux de réfection et d'appropriation avaient été mis à la charge de l'entrepreneur ; d'autre part, la nécessité de faire la traction par bateaux isolés de 70 t, condition antiéconomique au premier chef.

Aussi l'organisation du service de halage sur le canal de Charleroi, bien que marquant un nouveau pas en avant, ne donna-t-elle pas tous les résultats que méritaient l'initiative et l'ingéniosité de M. Girard.

Inconvénients du système de traction sur berges.

Après les expériences effectuées, en service normal, tant en France qu'en Belgique, on put conclure que la traction sur berges présente de nombreux inconvénients.

Si l'application de ce système n'entraine aucune installation de voie, il exige une chaussée fortement empierrée, dont le coût est considérable et dont l'entretien a atteint en France 875 f par an et par kilomètre, et en Belgique 1 900 f.

Encore la traction n'est-elle pas possible par tous les temps, et lors de la neige glacée, du verglas, les tracteurs ne peuvent sortir.

En second lieu, l'élévation du prix d'entretien du matériel cahoté dans les ornières du chemin, impose à l'exploitant une

charge considérable. Voici en particulier, pour le tracteur français, la durée moyenne des principaux organes :

Vis sans fin en bronze	3 mois 1/2.
Roue dentée en acier	2 ans 1/2.
Palier de butée	1 an.
Coussinet.	6 mois.
Roue motrice	2 ans.

Le coût moyen de l'entretien d'un tracteur sur berge s'est élevé à 476,60 f pendant l'année 1903.

Le rendement est défectueux. En ce qui concerne le tricycle français, ce rendement s'abaisse rapidement à 30 0/0 dès que le matériel n'est plus en état de neuf, d'où consommation exagérée de courant.

Enfin la vitesse et la puissance sont insuffisantes, ce qui oblige à multiplier les engins et, par conséquent, les dépenses de personnel et d'entretien, et permet difficilement aux périodes d'encombrement de répondre aux nécessités d'un trafic intensif.

Aussi les Ingénieurs français, instruits de ces inconvénients s'orientèrent-ils franchement vers la traction sur voie ferrée.

Expériences allemandes.

A ce moment, d'intéressantes expériences étaient tentées en Allemagne. Sur la proposition faite en 1899 par la maison Siemens et Halske au Gouvernement allemand, il avait été décidé d'expérimenter sur le canal de Finow, près d'Eberswalde, deux systèmes de traction mécanique : le système proposé par l'Ingénieur américain Lamb et le système de M. Kœttgen, Ingénieur en chef de la maison Siemens.

Le système Lamb est un funiculaire aérien dans le genre des funiculaires système Otto Pohlig qui servent aux transports de matériel.

Le long du canal est tendu, à une hauteur de 4 à 5 m au-dessus du chemin de halage, un fort câble en acier de 32 mm de diamètre, soutenu par des poteaux espacés entre eux d'environ 30 m. Sur ce câble porteur, se meuvent de petites locomotives électriques dont les moteurs actionnent des tambours, au moyen d'engrenages. Autour de ces tambours est enroulé un

second câble d'un diamètre de 16 mm seulement qui hale le bateau.

L'expérience montra que ce système ne pouvait être considéré comme suffisamment pratique, notamment à cause des efforts énormes exercés sur les poteaux et qui tendaient à tout renverser.

Le second mode de halage électrique, essayé par la maison Siemens et Halske et que nous nommerons « système monorail », comporte une locomotive légère circulant sur une voie ferrée à rail unique, établie sur le chemin de halage même.

Ce qui caractérise la disposition, c'est la répartition des poids sur les différentes roues de la locomotive. La plus grande partie (environ 85 0/0) de ces poids est reportée sur les roues principales actionnées par le moteur et repose ainsi sur le rail. Sur ce rail s'exerce, outre l'ensemble des efforts de traction, la composante horizontale provenant de l'obliquité de l'effort de traction et tendant à tirer la locomotive dans le canal. Les roues accessoires servant à assurer la stabilité de la locomotive n'ont à porter qu'une faible partie de son poids; elles roulent, soit directement sur la piste, soit sur un rail accessoire.

Le courant est transmis à la locomotive au moyen d'un trolley constitué par un galet et un bras rigide articulé en contact avec le fil conducteur fixé à environ 4 m du sol, sur des poteaux placés le long du côté extérieur de la voie.

Le rail principal avait été d'abord muni d'une crémaillère dans le but de pouvoir exercer un effort de traction aussi élevé que possible, sans qu'il soit pour cela nécessaire d'augmenter les poids de la locomotive ; à cette époque, on était, en effet, imbu de cette idée que la traction des bateaux nécessite la réalisation d'efforts au crochet très supérieurs à ceux que peut fournir une locomotive à simple adhérence.

Or, on constata, en enlevant les pignons de la locomotive engrenant dans la crémaillère, que le poid seul de la locomotive suffisait amplement pour permettre d'exercer les efforts de traction nécessaires à un trafic tel que celui du canal de Finow.

On abandonna donc l'emploi de la crémaillère (1).

(1) Rapports de M. Kœttgen, ingénieur en chef de la maison Siemens aux divers Congrès de Navigation, 1900, 1902, 1904, etc.

Expériences du canal de la Sensée.

Des essais pratiques plus probants furent exécutés en France dès l'année 1902 par MM. Mollard, administrateur délégué, et Chanay, directeur de la Société de Traction Électrique, sur une voie d'essai d'un kilomètre de longueur, le long du canal de la Sensée, avec un tracteur sur rails pesant 5,5 t et portant deux moteurs-série à courant continu de 10 chx chacun, qui permettaient de développer un effort de traction utile de 1 000 à 1 100 kg, très suffisant dans la pratique.

Après les expériences de la Sensée, dont M. Mollard rendit compte au Congrès de Dusseldorf en 1902, la cause du tracteur sur rail était gagnée, et, au concours ouvert en 1903 par la Direction du canal de Teltow, furent seuls primés les projets d'organisation du halage par tracteurs sur rails.

La Société de Traction Électrique elle-même ne se trouvait malheureusement pas alors en situation de pousser plus loin ses essais, l'exploitation n'ayant jusque-là donné que des mécomptes au point de vue financier; mais le premier soin de la nouvelle Société qui reprit l'affaire en 1904 fut de réaliser un essai pratique de fonctionnement de la traction électrique sur rails sur 6 kilomètres de longueur entre Douai et Auby.

Le nouveau tracteur, étudié par son directeur, M. Chanay, différait principalement du tracteur de la Sensée par l'augmentation de son poids et de la puissance des moteurs.

Ces essais effectués sous la haute impulsion de M. l'Ingénieur en chef La Rivière et sous la direction de M. Bourgeois, Ingénieur des Ponts et Chaussées, et de M. Chanay, ont été présentés au Congrès de Milan par M. l'Ingénieur en chef La Rivière.

L'éminent Ingénieur en chef concluait que les nouveaux tracteurs avaient donné tout ce qu'on attendait d'eux : douceur de démarrage, souplesse, puissance, haut rendement mécanique ; le rendement d'ensemble atteignait 70 0/0.

« En canal courant, concluait M. l'Ingénieur en chef La Ri-
» vière, les tracteurs électriques sur rails offrent une supériorité
» marquée sur les tracteurs sur berge, qui cependant ont fait

» leurs preuves dans une exploitation importante et de longue
» durée sur les canaux du Nord. Le capital de premier établis-
» sement considérable que nécessite l'installation de la traction
» électrique ne rend d'ailleurs son adoption admissible au point
» de vue industriel que sur les voies à fort trafic. »

C'est conformément à ces conclusions que la Compagnie Électrique du Nord décidait d'étendre le nouveau mode de traction à toute la partie de son réseau où le trafic est le plus intense, c'est-à-dire sur les canaux de la Deûle et la Dérivation de la Scarpe, puis sur le canal de la Sensée dès qu'elle obtiendrait la concession sollicitée par elle.

L'expérience poursuivie entre Douai et Auby, puis l'année suivante entre Douai et Courrières, lui permettait, en effet, de se rendre un compte exact des avantages et des économies résultant de la substitution de la traction sur rails par rapport à la traction sur berges.

Nous les résumerons brièvement.

Avantages de la traction sur rails comparativement à la traction sur berges.

1) La traction sur rails permet le halage des bateaux par tous les temps de jour comme de nuit, tandis que la traction sur berges oblige à cesser tout service par des temps de neige, verglas, temps humide d'hiver rendant le terrain glissant. Le service de nuit est presque impossible par suite des dangers qu'offre la circulation des tricycles sur les chemins de halage qui ne sont pas éclairés.

2) L'entretien de la voie, y compris le renouvellement des traverses en comptant pour ces dernières une durée moyenne de quinze années, ne dépasse pas 500 f par an et par kilomètre.

L'entretien de la chaussée demande environ 70 à 80 m cubes de porphyre à 12 f par kilomètre, soit une dépense de 840 f à 960 f.

3) En prenant comme base une section de 10 km, l'on peut réaliser les économies suivantes :

I. — Personnel.

Traction sur rails, 10 conducteurs et 1 surveillant.
Traction sur berges, 16 conducteurs et 2 surveillants.

Soit en moins 6 conducteurs à 4 f = 24 f.
1 surveillant à 5 f = 5 f.
29 f.

pour 350 jours par an. 29 f × 350 = 10 150 f.

II. — Énergie.

Chaque tracteur effectue journellement à peu près autant de parcours en remonte qu'en descente.

La moyenne de débit d'un tracteur sur berge est de :

En remonte	17 ampères.
En descente	7 —
	24 ampères.

Soit, comme moyenne de marche, 12 ampères ou 6 kw en supposant une tension moyenne de 500 volts.

La moyenne de débit d'un tracteur sur rails est de :

En remonte	22 ampères.
En descente	14 —
	36 ampères.

Soit, comme moyenne de marche, 18 ampères ou 9 kw.

Pour 10 kilomètres, nous avons :

16 tracteurs sur berges, soit 16 × 6 = 96 kw.
10 tracteurs sur rails, soit 10 × 9 = 90 kw.

Soit une différence de 96 — 90 = 6 kw.

Pour 12 heures de marche, 6 kw × 12 = 72 kw à 0,10 f.

0,10 f × 72 = 7,20 f.

Pour 350 jours par an, 7,20 f × 350 = 2 520 f.

III. — Entretien.

Un tracteur sur berges a coûté comme entretien pour l'exercice 1903 :

Huile.	45 30 f
Graisse.	77 70
Pièces de rechange	355 60
	478 60 f

L'on peut estimer qu'un tracteur sur rails coûte :

Huile.	20 f »
Graisse.	15 »
Pièces de rechange	310 »
	345 f »

Pour 10 kilomètres :

Tracteurs sur berges. . .	16 × 478,60	= 7 657,60 f
Tracteurs sur rails. . . .	10 × 345	= 3 450
Soit une différence en moins de . .		4 207,60 f

Récapitulation.

Personnel	10 150 f
Énergie	2 520
Entretien	4 207,60 f
	16 877,60 f

Soit pour 1 kilomètre : 1 687,76 f.

Ainsi donc, en France et en Allemagne, on arrivait aux mêmes conclusions, c'est-à-dire au halage par locomotive électrique sur rail ; mais, qu'il soit permis de le faire remarquer en passant, la France devançait hardiment sa voisine, surtout dans le domaine de l'application pratique.

Conditions générales du problème du halage.

Si l'histoire du halage mécanique que nous venons de rappeler brièvement, est marquée par de nombreux insuccès, c'est que les données du problème ont été souvent mal établies ; des constructeurs se sont figuré qu'il suffisait de mettre un moteur de tramway sur un châssis quelconque pour arriver à un résultat.

Cependant les conditions sont tout autres.

C'est encore à un Ingénieur des Ponts et Chaussées français que revient l'honneur de les avoir clairement définies. Au Congrès de Bruxelles de 1897, où M. l'Ingénieur en chef La Rivière retraçait les belles expériences de M. Galliot, M. l'Inspecteur général de Mas rendait compte de ses intéressants essais sur la résistance des péniches à la traction. M. de Mas a montré qu'en eau indéfinie la résistance opposée à la traction par un bateau de forme déterminée est une fonction qui dépend de l'enfoncement t et de la vitesse V, fonction de la forme $(a + b\,t)\,V^{2,25}$.

Dans un canal, cette résistance doit être multipliée par un facteur dont la détermination est complexe, mais qui pour des formes semblables varie selon la grandeur du rapport $\frac{\omega}{\Omega}$ de la section mouillée à la section du canal.

Nous voyons que la résistance croît très vite avec la vitesse, mais qu'elle dépend aussi dans une large mesure des dimensions du canal, de la forme des péniches, et de la constitution des convois.

Si la vitesse de traction croît, la consommation d'énergie croîtra très vite, mais, d'autre part, les dépenses de personnel et d'entretien des tracteurs diminueront.

Il y a donc pour chaque canal une vitesse économique de traction, dont il faut s'écarter le moins possible si l'on veut obtenir des résultats favorables au point de vue financier, et le tracteur doit être étudié pour la réaliser dans les conditions habituelles et moyennes du service à assurer.

L'étude préalable de ces conditions doit être faite avec d'autant plus de soin que le moteur employé jusqu'ici dans les tracteurs qui assurent le service tant en France qu'en Allemagne, c'est-à-dire le moteur série à courant continu, n'offre aucun moyen économique de régler la vitesse normale de marche.

Il était tout naturel de s'adresser à ce moteur qui a fait ses preuves comme engin de fatigue sur les innombrables tramways qui sillonnent nos banlieues, et, d'ailleurs, au moment où les premières installations de halage électrique furent établies en

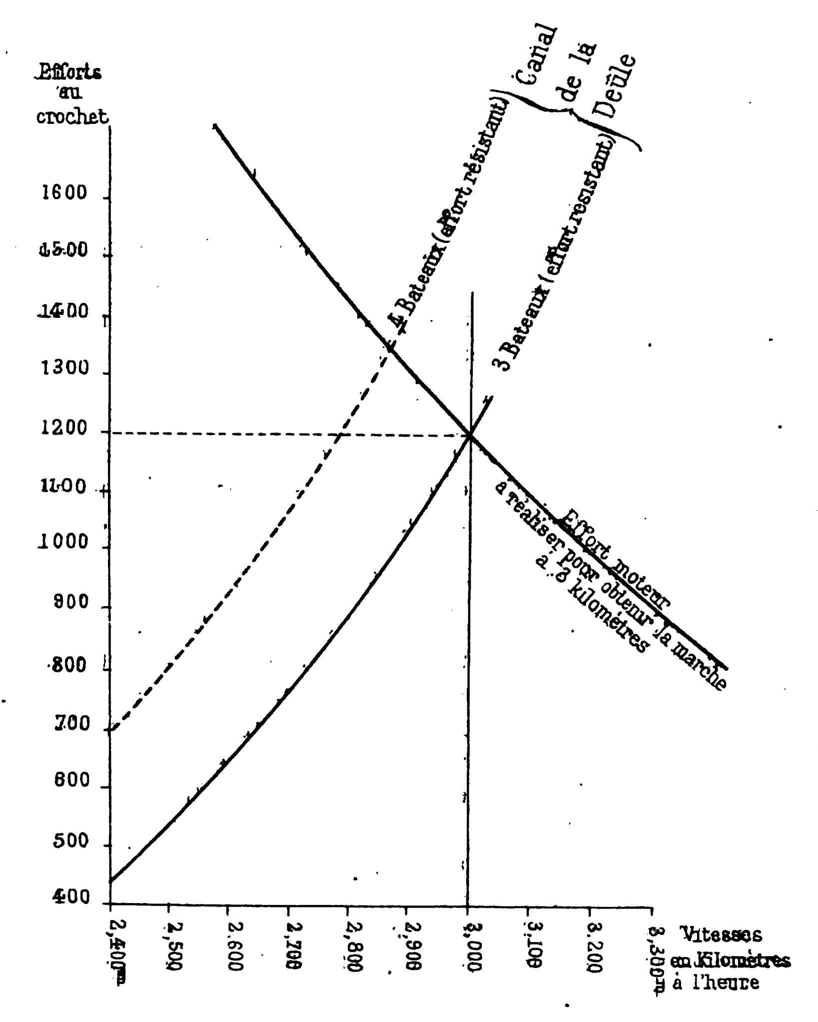


Fig. 1.

France et en Allemagne, on n'avait guère le choix qu'entre ce moteur et le moteur Shunt à courant continu qu'aucun constructeur n'osait recommander comme trop délicat ou encore le moteur à courant triphasé qui présentent d'autres inconvénients.

Or, avec un moteur série à courant continu, l'effort développé au crochet de traction est de la forme :

$$F = Ki\mathfrak{N},$$

i étant l'intensité du courant qui traverse l'induit et les inducteurs, et $\mathfrak{N}$ le flux.

Ces deux éléments sont des fonctions de la vitesse de rotation de l'induit, par conséquent de la vitesse de marche, fonctions dont les valeurs diminuent quand la vitesse augmente :

$$F = \varphi(v),$$

φ étant une fonction décroissante de v.

D'autre part, l'effort résistant toutes choses égales d'ailleurs, est de la forme $R = K' V^{2,25}$.

En posant $F = R$, nous avons une équation en v, qui donne pour la vitesse une seule valeur bien déterminée.

C'est ce que montre plus nettement le graphique ci-joint *(fig. 1)*.

Malheureusement le coefficient K' de la formule exprimant l'effort résistant est loin d'être une constante; il dépend, nous l'avons vu, du nombre de bateaux trainés, du vent, du courant, du rapport $\frac{\omega}{\Omega}$ c'est-à-dire de la section du canal, et de son encombrement, etc. Il s'ensuit que, dans la pratique, la vitesse de marche s'écarte plus ou moins de la vitesse économique. C'est là un point qui laisse encore à désirer dans les systèmes actuels.

Le moteur monophasé à collecteur nous apportera, sans doute, la solution complète du problème avec une économie notable dans le coût de la ligne de trolley et des sous stations.

PUISSANCE.

La puissance du tracteur et par conséquent des moteurs, à la vitesse choisie pour l'exploitation, est définie par la composition des rames à trainer.

La traction doit, en effet, s'opérer par rames comportant le plus grand nombre de bateaux compatible avec la sécurité de marche.

C'est là un point d'importance capitale et sur lequel nous devons insister : en raison des frais considérables de premier établissement et d'exploitation qui la grèvent, une entreprise de

traction mécanique n'est viable qu'à la condition de traîner les bateaux par rames d'au moins trois ou quatre.

On comprend immédiatement que la traction par rames permet de réduire le matériel, d'où économie de frais d'entretien et de personnel; elle conduit aussi à une économie d'énergie électrique, car la puissance dépensée par tonne kilométrique remorquée diminue ainsi très notablement, le premier bateau ouvrant en quelque sorte le chemin aux autres.

Démarrage. — Accélération.

Par ces deux considérations — vitesse et tonnage — nous avons défini le moteur du tracteur. Reste à examiner un autre problème celui du démarrage, qui a paru au début difficile à résoudre, en raison de ce que le poids du convoi est considérable par rapport au poids et à la puissance du tracteur. N'oublions pas, en effet, qu'un petit tracteur pesant 10 t et disposant d'une puissance de 20 ch, doit démarrer trois et même quatre péniches contenant un poids utile de 1 200 t de marchandises.

Les équations des quantités de mouvement et de l'effort accélérant montrent qu'il ne faut plus ici compter en secondes comme pour le démarrage d'un véhicule terrestre, mais en minutes.

Il faudra donc : soit adapter au tracteur un appareil spécial de démarrage, soit le munir d'un controller tout spécialement étudié en vue d'une très lente accélération de vitesse.

Les problèmes étant ainsi bien posés, nous allons voir comment ils ont été résolus par les tracteurs actuellement en service en France et en Allemagne; mais il est difficile de parler de ces engins sans dire mot des conditions dans lesquelles ils sont appelés à fonctionner, l'un, en France, sur les canaux du Nord, l'autre sur le canal de Teltow.

Installation de traction électrique sur les canaux du Nord de la France.

Les installations de la Société de Halage Électrique s'étendent le long des canaux d'Aire, de la Deûle, de la Dérivation de la Scarpe et de la Sensée jusqu'à l'Escaut, sur une longueur totale de 83 km *(fig. 7, pl. 175)*.

Le trafic de cet ensemble de voies navigables est exception-

nellement important : à titre d'indication, le tonnage ayant franchi en remonte le canal de la Sensée pendant l'année 1907, s'est élevé à 3.408.764 t.

Les dimensions de ces canaux sont les suivantes :

	Largeur du plafond	Profondeur
	m	m
Canal d'Aire.	10	2,10 à 2,50
Canal de la Deûle. . . .	10	2,20 à 2,50
Dérivation de la Scarpe. .	15	2,20
Canal de la Sensée. . . .	10	2,50

Sur le parcours exploité par la Société de Halage Électrique, on rencontre quatre écluses :

L'écluse de Cuinchy, sur le canal d'Aire ;

Les écluses de Dorignies et de Courchelettes, sur la Dérivation de la Scarpe ;

L'écluse de Gœlzin, sur la Sensée (1).

Au point de vue de l'exploitation, cet ensemble comprend deux parties bien distinctes :

De Béthune à Douai, et de Douai au Bassin Rond.

La partie de Béthune à Douai constitue en réalité un vaste port de chargement aux multiples bassins où l'on rencontre successivement les « Rivages » des Compagnies houillères de :

Marles,	Ostricourt,
Bruay,	Courrières,
Nœux,	Liévin,
Béthune,	Dourges,
Meurchin,	Aniche,
Lens,	l'Escarpelle,

représentant ensemble un tonnage total de près de 3 500 000 t de houille annuellement embarquée.

L'activité de ces chargements de houille ne se maintient pas constante pendant toute l'année ; elle varie, au contraire, considérablement d'un mois à l'autre, d'une semaine à l'autre selon la demande de la clientèle, l'activité de l'extraction, la fourniture plus ou moins abondante de matériel roulant par les Compagnies de chemins de fer, le cours du fret, etc.

(1) La nouvelle écluse de Gœlzin, remarquablement outillée, remplace les trois écluses anciennes de Gœlzin, Estrées et Fressies qu'on voit encore figurer sur le plan.

A de certaines époques de l'année, au moment de la quinzaine Sainte-Barbe, les embarquements atteignent jusqu'au triple de la moyenne mensuelle. Il faut ajouter qu'à l'époque des gelées, si la navigation est entravée, les chargements ne le sont pas toujours, et qu'on se trouve, lors du dégel, devant une accumulation de bateaux. De même, à l'issue du chômage annuel, les rivages et le canal sont pleins de péniches bord à bord, qui s'écoulent lentement. Des files de plusieurs kilomètres de longueur s'entassent en aval des écluses et, lorsque quelques-unes d'entre elles en ont franchi les portes, il faut faire avancer toute la queue. On peut penser quels efforts onéreux doit réaliser une Compagnie de traction pour rétablir en quelques jours la circulation normale.

Une pareille exploitation qui n'a peut-être pas d'analogue en Europe, présente des difficultés exceptionnelles et ne peut être comparée en rien au trafic paisible du canal de Teltow, dont nous parlerons tout à l'heure.

Avant l'installation de la traction électrique, l'anarchie complète régnait en ces parages ; les rivages n'étaient plus débloqués aux époques d'encombrement, les haleurs imposaient aux malheureux pénichiens des tarifs prohibitifs atteignant jusqu'à 2,50 f par bateau-kilomètre. Aussi les Ingénieurs de la navigation se préoccupaient-ils vivement de trouver le remède à une situation qui empirait d'année en année.

M. l'Ingénieur en chef La Rivière, dont le nom restera attaché à cette belle œuvre, comprit bien vite que seule la traction mécanique pouvait résoudre ce difficile problème et il ne cessa jusqu'à son dernier jour de soutenir de sa haute autorité et d'aider de ses précieux conseils les efforts des hardis pionniers qui tentèrent d'organiser une exploitation dans des conditions si périlleuses. La mort, hélas ! l'a emporté avant qu'il pût voir le couronnement de ses œuvres. Qu'il nous soit permis de rendre ici un hommage respectueux à sa mémoire.

Installations de la Société de halage électrique.

L'organisation actuelle de la Compagnie électrique du Nord comporte :

I — La traction par tricycles sur berges systèmes Galliot-Denèfle, dans la partie de plus faible trafic, depuis Béthune jus-

qu'au rivage de Meurchin, soit sur 25 km ; elle est assurée au moyen de trente tricycles ;

II — La traction par tracteurs sur rails depuis Meurchin jusqu'au Bassin Rond sur 55 km ; soixante tracteurs sont actuellement en service.

Nous décrirons brièvement cette dernière.

Tracteur.

Le tracteur en service est une véritable locomotive symétrique pouvant agir indifféremment dans un sens ou dans l'autre. Il a été étudié par M. Chanay, directeur de la Société de halage électrique et construit par les Ateliers de constructions du Nord et de l'Est à Jeumont.

Chaque tracteur comprend :

1) Un bâti de fonte d'une seule pièce, d'un poids de 6 000 kg, surmonté d'une petite cabine en fer cornière et tôles assemblées ;

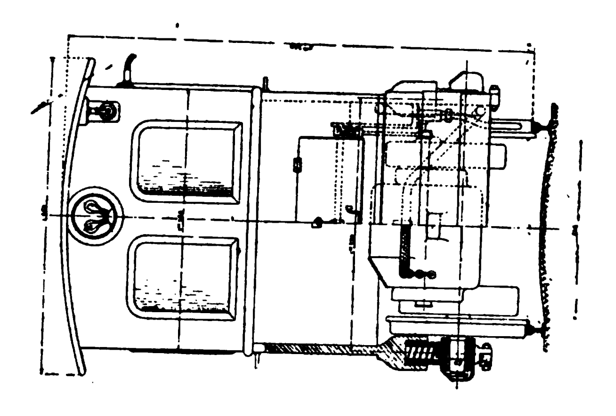
2) Deux essieux montés avec roues Griffin de 0,70 m de diamètre ;

3) Deux moteurs de tramway, type T III à courant continu, excités en série, développant normalement 20 ch sous une tension de 550 volts.

Ils actionnent les essieux moteurs par un double harnais d'engrenages avec réduction de $\frac{64}{17} \times \frac{46}{12} = 14,427$.

Les deux moteurs, couplés en série sous la tension de 500 volts, peuvent développer un effort de 1 200 kg à la vitesse de 3 km à l'heure, un effort de 800 à 900 kg à la vitesse de 3,300 km à l'heure, un effort de 300 à 400 kg à la vitesse de 5 km à l'heure. Avec les deux moteurs en parallèle, la vitesse haut le pied est d'au moins 14 km à l'heure. Le rapport entre la puissance au crochet, la corde étant presque parallèle à la voie, et la puissance fournie aux bornes des moteurs, n'est pas inférieur à 0,70 pour tous les efforts supérieurs à 700 kg.

Les moteurs sont commandés par un controller série-parallèle ayant sept touches pour la marche en série et quatre touches pour la marche en parallèle.



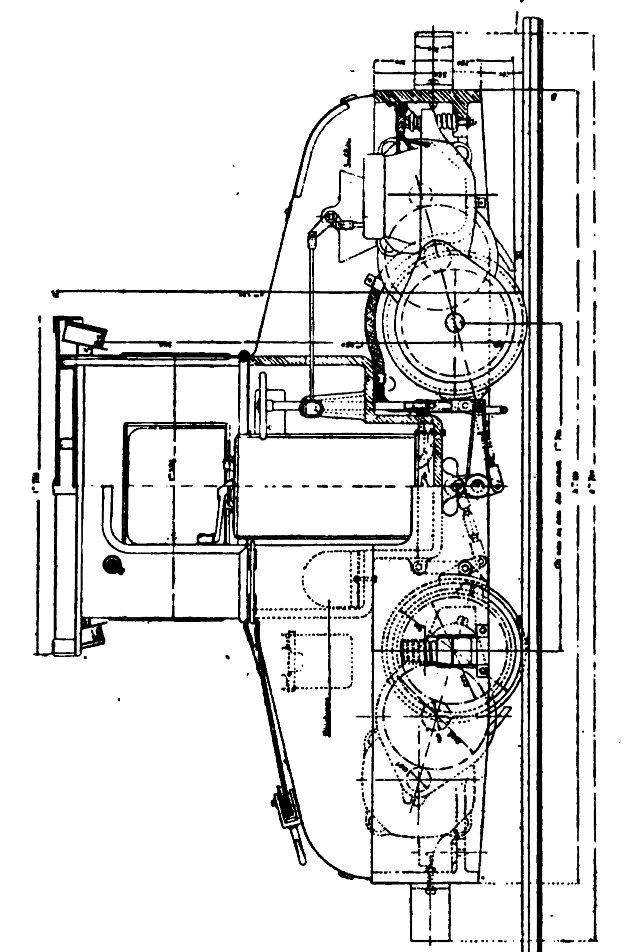


Fig. 2.

L'ensemble pèse environ 10 t et présente les dimensions d'encombrement suivantes *(fig. 2 et fig. 2. pl. 175) :*

Longueur.	Largeur.	Hauteur.
—	—	—
4,700 m	1,350 m	2,35 m

Le tracteur de la Société de halage électrique donne toute satisfaction ; il permet de remorquer très facilement des trains de trois et quatre bateaux à la vitesse de 3 km à l'heure avec une consommation de 4 watts par tonne kilométrique.

L'entretien de ces appareils paraît extrêmement faible.

On trouvera ci-joint quelques résultats des essais pratiqués en 1904 sur les canaux de la Deûle et la Dérivation de la Scarpe.

Ces résultats se sont parfaitement maintenus en service normal ; ils sont même dépassés sur les derniers tracteurs, et le rendement global :

$$R = \frac{\text{Travail utile}}{\text{Energie électrique absorbée}}$$

reste nettement supérieur à 0,70.

Le controller à sept touches, dont nous parlons plus haut, permet un démarrage parfaitement doux qui n'impose jamais aux cordes des mariniers un effort supérieur à 1 200 kg.

Le tracteur porte sur le côté un crochet de traction où s'attache la remorque, laquelle passe généralement au haut du mât du marinier *(fig. 3 et 4, pl. 175)*.

La traction se faisant sur une seule berge, quand deux tracteurs viennent à se rencontrer, les conducteurs échangent leurs remorques. Le bateau montant abaisse son mât et se dirige vers la rive de traction ; le descendant, au contraire, s'en éloigne et le croisement s'effectue le plus simplement possible et sans perte de temps.

Voie.

La voie ferrée sur laquelle roulent les tracteurs est constituée en rails de 20 kg, sur traverses en bois ; elle court sur un seul côté du canal le long de la berge, laissant à l'extérieur un passage pour les haleurs par chevaux.

Ligne de trolley.

Tracteurs et tricycles sont alimentés par une ligne électrique à 500 volts continus, comportant des feeders et une ligne de contact de 7 mm de diamètre, placés sur poteaux en bois le long du chemin de halage.

La prise de courant s'effectue au moyen d'un trolley cavalier à contrepoids relié au tracteur par un fil souple.

Production et distribution de l'énergie.

La Société de halage électrique ne produit pas elle-même l'énergie nécessaire à la traction des bateaux ; elle l'achète à une Société qui, sous le nom de « Compagnie électrique du Nord », a pour objet la distribution d'énergie électrique dans la région.

Cette Compagnie électrique achète elle-même l'énergie électrique à la Centrale des mines de Lens et la transporte le long du canal par une ligne primaire, armée pour la tension de 45 000 volts (*fig. 5, Pl. 175*). Des postes de transformateurs abaisseront ce voltage et une ligne de distribution à 5 000 volts court le long de la ligne primaire. C'est sur cette ligne que se feront les dérivations qui desserviront les divers villages. C'est aussi à la tension de 5 000 volts que sont alimentées les cinq sous-stations de la Société de halage électrique où le courant triphasé est transformé en courant continu 500 volts.

La distance entre deux sous-stations est en moyenne de 12,500 km. Les deux sous-stations de Beuvry et Pont-à-Vendin comportent chacune un convertisseur rotatif de 130 kw. Chacune des quatre autres sous-stations : de la Batterie, Douai, Arleux et Hem-Lenglet, comprend deux convertisseurs de même puissance.

Résultats.

L'exploitation des canaux du Nord par tracteurs électriques a constitué un incontestable progrès.

Nous avons dit que le tracteur électrique avait apporté l'ordre, la régularité où régnait le chaos. C'est là le point capital.

En second lieu, stabilité des prix au taux très modique de

Tracteurs

Expériences faites en 1904 sur la

INDICATION DES EXPÉRIENCES	DURÉE des EXPÉRIENCES	EMPLACEMENT — Rapport de la section mouillée du canal à la section immergée du bateau	NOMBRE DE BATEAUX remorqués N	TONNAGE UTILE remorqué P	VITESSE en mètres à la seconde V	VITESSE en kilomètres à l'heure
1° *Traction d'un bateau chargé :*	m. s.			t	m	km
Tracteur n° 1, 40 HP, réduction 1/20 (marche en série).	2 00	Dérivation 5,22	1	290	0,923	3,320
Tracteur n° 3, 40 HP, réduction 1/20 (marche en série).	2 28	Deûle 3,89	1	290	0,810	2,916
MOYENNES	»	»	1	290	0,866	3,118
2° *Traction de 2 bateaux chargés :*						
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	3 26	Dérivation 5,22	2	580	0,873	3,142
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	4 28	Deûle 3,89	2	580	0,896	3,225
Tracteur n° 3, 40 HP, réduction 1/20.	6 37	Deûle 3,89	2	580	0,755	2,720
MOYENNES	»	»	2	580	0,841	3,029
3° *Traction de 3 bateaux chargés :*						
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	14 06	Deûle 3,89	3	870	0,770	2,772
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	5 25	Deûle 3,89	3	870	0,775	2,790
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	5 31	Dérivation 5,22	3	870	0,906	3,260
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	41 50	Deûle 3,89	3	870	0,746	2,685
MOYENNES	»	»	3	870	0,799	2,852
4° *Traction de 4 bateaux chargés :*						
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	16 42	Deûle 3,89	4	1 160	0,718	2,584
5° *Traction de 3 bateaux vides :*						
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	5 29	Dérivation	3	»	1,820	6,550
Tracteur n° 4, 40 HP, réducteur 1/15, 57.	»	Deûle	3	»	1,886	6,790
MOYENNES	»	»	3	»	1,853	6,670
6° *Traction de 4 bateaux vides :*						
Tracteur n° 4, 40 HP, réduction 1/15, 57	2 10	Dérivation	4	»	1,724	6,20

sur rails.

Dérivation de la Scarpe et de la Deûle.

EFFORT AU CROCHET		TRAVAIL UTILE $\frac{VF}{75} = T$	VOLTAGE MOYEN v	INTENSITÉ MOYENNE i	PUISSANCE ABSORBÉE		RENDEMENT $R = \frac{T}{E}$	PUISSANCE ABSORBÉE	
Total F	en kilogramm. par tonne remorquée				en kilowatts $E = vi$	en ch.-vapeur $E' = \frac{E}{736}$		par tonne kilométrique en watts-heure	par bateau kilomètre en kilowatts-heure
kg									
300	1,03	3,69	536	7,3	3,913	5,30	0,70	4,06	1,189
468	1,61	5,05	497	13,5	5,715	7,76	0,65	6,76	1,959
384	1,30	4,37	516	10,4	4,814	6,53	0,675	5,41	1,574
656	1,13	7,64	520	17,5	9,100	12,36	0,62	4,99	1,448
639	1,10	7,64	512	15,3	7,833	10,64	0,72	4,19	1,215
675	1,16	6,79	510	14,25	7,268	9,88	0,68	4,61	1,337
656	1,13	7,36	514	15,6	8,067	10,96	0,68	4,60	1,333
933,6	1,07	9,58	507,7	19,3	9,808	13,33	0,72	4,05	1,180
1 010,0	1,16	10,44	532,4	22,1	11,744	15,95	0,65	4,84	1,403
634,6	0,73	7,67	521,5	16,6	8,656	11,76	0,65	3,05	0,885
867,0	1,00	8,62	477,6	18,8	8,978	12,20	0,71	3,84	1,111
861,3	0,99	9,08	510,0	19,2	9,796	13,31	0,68	3,94	1,145
1 065	0,97	10,20	507	23,1	11,711	15,91	0,64	3,89	1,133
727	»	17,64	539	35,0	18,865	25,6	0,69	»	0,960
661	»	16,62	538	35,3	18,991	25,8	0,64	»	0,933
694	»	17,13	538,5	35,1	18,928	25,7	0,665	»	0,916
908	»	20,89	538	40	21,620	29,37	0,71	»	0,912
MOYENNE GÉNÉRALE.							0,675		

3,5 millimes la tonne kilométrique *en remonte*, tandis que les haleurs exigent parfois plus du double (1).

Enfin, gain de temps pour le marinier. Ce gain de temps, il faut y insister, dépasse et de beaucoup celui qui parait devoir résulter de l'accroissement relativement faible de la vitesse instantanée du bateau.

C'est ainsi que, pour franchir le canal de la Sensée, les bateaux traînés par des chevaux mettaient normalement de trois à quatre jours. Le tracteur leur fait franchir cet espace en un jour.

Installations de traction électrique du canal de Teltow.

Le canal de Teltow fait communiquer la Sprée en amont de Berlin avec les lacs environnant Postdam et la Havel ; il a été créé pour éviter le passage dans la capitale *(fig. 3)*.

Sa longueur est de près de 37 km ; il comporte une seule écluse à 9 km environ de l'extrémité aval.

Dans les parties les plus étroites, la largeur est de 20 m au plafond et de 35 m environ au niveau de l'eau. La profondeur est de 2,50 m. La vitesse du courant est presque nulle.

Au point de vue du halage, les conditions sont donc beaucoup plus favorables que sur les canaux du Nord de la France.

De chaque côté du canal a été installée, pour la traction électrique des bateaux une voie ferrée de 1 m de largeur qui occupe tout le chemin de halage et dont l'axe se trouve à environ 1,50 m de la crête du talus. Elle est constituée en rails Vignole de 20 kg sur traverses métalliques.

La ligne aérienne à basse tension (600 volts continus) destinée à fournir l'énergie aux tracteurs est placée parallèlement à la voie à une distance d'environ 1,20 m. Elle est supportée par des poteaux métalliques. Les poteaux en alignement droit sont formés de deux fers à U assemblés ; dans les angles les poteaux sont en cornières assemblées.

Cette ligne comporte un fil de contact placé dans l'axe de la voie, et un feeder dont la section est variable suivant la distance.

L'énergie nécessaire à la traction ainsi qu'aux manœuvres des écluses est fournie par une station produisant du courant tri-

(1) Ce prix s'entend pour la traction par rames.

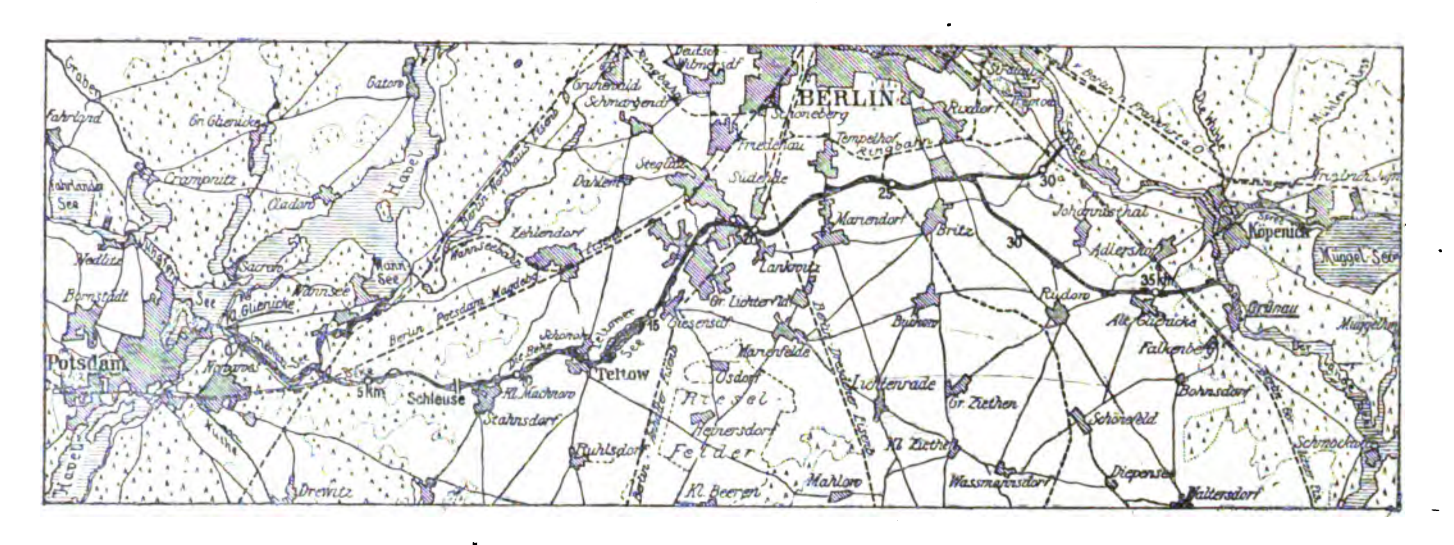

BERLIN
Schöneberg
Friedenau
Tempelhof
Ringbahn
Rixdorf
Südende
Steglitz
Dahlem
Schmargendorf
Zehlendorf
Wannsee
Wann See
Havel
Gatow
Cladow
Sacrow
Gr. Glienicke
Kl. Glienicke
Crampnitz
Fahrland
Nedlitz
Bornstädt
Potsdam
Nowawes
Drewitz
Schleuse
5km
Kl. Machnow
Stahnsdorf
Teltow
Ruhlsdorf
Giesensdorf
Gr. Lichterfelde
Lankwitz
Marienfelde
Mariendorf
Osdorf
Heinersdorf
Felder
Kl. Beeren
Mahlow
Lichtenrade
Britz
Buckow
Gr. Ziethen
Kl. Ziethen
Wassmannsdorf
Rudow
Johannisthal
Adlershof
Köpenick
Müggel See
Grünau
Alt Glienicke
Falkenberg
Bohnsdorf
Schönefeld
Diepensee
Waltersdorf
Schmöckwitz
Berlin Potsdam Magdeburg
15
25
30
30a
35km

Fig. 3.

phasé à 6 000 volts. Cette station comporte deux groupes turbo-alternateurs de 1 000 ch chacun et un groupe avec machine horizontale de 300 ch.

L'énergie haute tension est transmise aux sous-stations par câbles souterrains ; ces câbles sont en double ; chaque sous-station alimente un tronçon d'environ 10 km.

TRACTEUR.

Le tracteur se compose d'un long châssis en fers assemblés portant à une de ses extrémités une cabine abritant le conducteur et les divers appareils nécessaires à son fonctionnement.

Sa forme générale rappelle celle d'un tricycle genre Gaillot-Denèfle auquel on aurait donné de plus grandes dimensions et où l'on aurait remplacé la roue avant par un essieu et l'essieu moteur par un bogie.

Chaque tracteur comprend : deux moteurs à courant continu avec enroulement série de 8 ch fixés sur chacun des essieux du bogie. Ces moteurs tournent à 800 tours par minute et commandent l'essieu par un engrenage à double réduction de vitesse ; ces moteurs peuvent fonctionner à pleine charge pendant six heures consécutives ; ils sont très étroits et n'occupent qu'une partie de l'espace libre sur l'essieu ; ils sont fixés près de la roue opposée au canal de façon à augmenter le poids de ce côté pour éviter les renversements qui pourraient se produire par suite d'efforts de traction trop considérables. Dans le même but, on a désaxé la cheville ouvrière de façon que le poids du châssis soit reporté également du côté opposé au canal. C'est ainsi que le poids total du tracteur qui est de 7 500 kg est inégalement réparti en 4 500 kg du côté de terre et 3 000 kg du côté du canal.

Le halage des bateaux se fait avec les deux moteurs marchant en parallèle sous un voltage de 600 volts ; le démarrage des bateaux est obtenu à l'aide d'un coupleur ayant quatorze touches tant pour la marche série que pour la marche parallèle, avec rhéostat en fils de maillechort.

En dehors du rhéostat, on se sert pour le démarrage des bateaux d'un treuil sur lequel est enroulé un câble en acier d'environ 100 m de longueur. A l'extrémité de ce câble vient se fixer la remorque du bateau. Après avoir passé successivement

sur toutes les touches du coupleur et au fur et à mesure que la vitesse du tracteur augmente, si l'on arrive à de trop grands efforts, on laisse dérouler le câble du tambour de façon à diminuer la vitesse des bateaux tout en conservant la même vitesse au tracteur.

La rotation du tambour est réglée à volonté à l'aide de lames de friction. Les lames de friction étant embrayées permettent de donner un effort de 1 200 kg; si l'on vient à dépasser ce chiffre, la friction n'est plus suffisante et le câble se déroule. L'enroulement du câble sur le tambour est obtenu au moyen d'un petit moteur spécial de 3 ch.

L'extrémite du câble de traction passe dans un œil fixé à la partie supérieure d'un mât que l'on peut lever ou abaisser à volonté. Ce mât, qui a environ 2,50 m de long oscille autour d'un axe fixé au-dessus de l'essieu avant du tracteur. Il a pour but de relever la corde de halage afin de permettre le passage au-dessus des bateaux en stationnement. Le mouvement d'élévation ou d'abaissement du mât, qui peut se faire en marche, est obtenu au moyen d'une vis à filet carré maintenue à ses deux extrémités ; sur cette vis se déplace un écrou qui est relié directement à la partie inférieure du mât. Suivant le sens de rotation de la vis, l'écrou se déplace dans un sens ou dans l'autre et le mât s'élève ou s'abaisse. Le mouvement de rotation de la vis est obtenu à l'aide d'un moteur électrique de 3 ch par l'intermédiaire d'une commande par vis sans fin *(fig. 4, et fig. 6 Pl. 175)*.

Cet appareil, qui est indispensable sur le canal de Teltow, ne présenterait sur les canaux du Nord aucune utilité parce que la remorque est amarrée suffisamment haut, tant sur le bateau que sur le tracteur pour permettre le passage au-dessus des bateaux en stationnement.

Quant à l'appareil de démarrage, c'est une complication qui semble inutile sur le tracteur allemand qui n'est pas établi pour fournir des efforts supérieurs à 1 200 kg sans patiner.

Des différents essais qui ont été faits, il résulte qu'un tracteur peut remorquer un train de deux bateaux chargés de 600 t chacun à la vitesse de 4 km, l'effort au crochet dans ce cas est de 1 000 kg environ.

En 1907, le trafic du canal de Teltow était encore insignifiant : « Sur un parcours de plus de 15 km, nous avons rencontré deux tracteurs en service, l'un remorquant un bateau chargé de

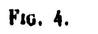


FIG. 4.

190 t et un vide à une allure d'environ 4,500 km, l'autre remorquant deux bateaux chargés de 175 t chacun et deux vides à une allure d'environ 4 km (1) ».

Écluse.

L'unique écluse qui se trouve sur le canal est une écluse à deux sas placés côte à côte ; la largeur des sas est de 10 m et la longueur 67 m. Les portes de fermeture se déplacent verticalement au moyen d'un treuil actionné électriquement. Le remplissage des sas se fait à l'aide de siphon marchant par le vide.

L'entrée et la sortie des bateaux se font à l'aide de petits tracteurs circulant sur des glissoires ayant 140 m de longueur. Ces tracteurs n'ont qu'un seul moteur, à double réduction de vitesse, actionnant une roue dentée sur laquelle passe une chaîne qui est fixée aux deux extrémités de la glissoire. Le poids de ces tracteurs est d'environ 900 kg, leur longueur de 2,75 m, leur largeur de 0,70 m et l'écartement des rails de 0,65 m. La manœuvre du rhéostat se fait du bas de la glissoire par l'intermédiaire d'une chaîne. La remorque du bateau s'accroche à l'extrémité d'un câble enroulé sur un tambour identique à celui des tracteurs ordinaires.

En résumé, le tracteur de Teltow a de grandes ressemblances avec le tracteur français ; il s'en distingue surtout :

1) Par sa forme asymétrique qui suppose l'établissement de la voie ferrée sur les deux berges du canal, solution coûteuse ;

2) Par son treuil auxiliaire de démarrage et de relevage de flèche fort intéressants sans doute, mais qui constituent une complication dont la pratique des canaux français a montré qu'on pouvait se passer.

Le rendement des deux appareils est équivalent.

Sans pouvoir donner des chiffres, il ne nous paraît pas douteux que les installations de Teltow ont coûté beaucoup plus cher que les installations françaises.

Ajoutons que le tarif de traction est de 0,4 pf la tonne kilométrique, soit cinq millièmes. Et cependant vu les sommes immobilisées, on peut se demander si l'on arrivera à couvrir les dépenses d'exploitation et d'amortissement.

(1) Note. Nous empruntons ces détails à un rapport de voyage de M. Chanay, directeur de la Société de halage électrique.

Essais américains.
Les tracteurs à adhérence proportionnelle.

Pendant que les installations étaient créées en Europe, les Américains s'orientaient vers une autre solution.

En 1903, Wood expérimentait sur le canal Erié ses premiers appareils qui se réduisaient aux moteurs avec leurs trains d'engrenages circulant sur des poutres à I lesquelles étaient pincées verticalement par des galets à ressorts. L'exagération des vitesses pratiquées (9 à 10 km à l'heure), la grandeur des unités remorquées empêchèrent de tirer de ce système tous les avantages qu'on pouvait attendre.

En 1905, les recherches simultanées de M. Saint-John Clarke, Ingénieur en chef du métropolitain de New-York, de M. Fr. Blackwell et de M. Léon Gérard conduisirent à la réalisation d'un type de tracteur monorail caractérisé par ces deux faits qu'un appareil de moins de 3 t permettait de développer un effort au crochet de 4000 kg et par le rendement élevé de cet ensemble.

MM. Clarke et Gérard ont donné, dans leur rapport présenté au Congrès de Milan en 1905, les indications les plus complètes sur le système de traction qu'ils préconisent.

L'infrastructure est étudiée soit pour simple voie, soit pour doubles voies séparées posées une sur chaque berge ou pour double voie sur une même berge.

Le chemin de roulement pèse par kilomètre de simple voie posée sur berge 60 t et par kilomètre de voie double 105 t. En tunnel, la voie pèse 52 t par kilomètre de voie simple et 97 t par kilomètre de voie double.

Il se compose de piliers verticaux en treillis espacés de 6,35 m, pesant 6 kg par mètre courant. Ces piliers supportent la voie par une console saillant horizontalement de 30 cm.

La voie proprement dite est une poutrelle de 250 mm de hauteur en double T à larges bourrelets pesant 37 km le mètre courant et présentant deux saillies-guides. Elle pèse avec joints et raidisseurs 45 km par mètre courant.

Le pied des piliers est posé dans un pilot en tôle d'acier à pointe de béton, lequel est ordinairement foncé dans la berge à l'eau injectée sous pression.

MATÉRIEL ROULANT.

Le tracteur a une puissance normale de 45 H.P. Son moteur est susceptible de fournir momentanément 55 H.P. Il est du type G. E. 61, modèle de mine, et forme un ensemble compact parfaitement enfermé et dont le centre de gravité est placé sous la poutre-guide de la voie.

Le moteur attaque par pignon fraisé une roue satellite qui engrène sur deux roues dentées calées directement sur les roues motrices. Le moteur fait 500 révolutions ; le rapport des dents du simple jeu d'engrenages est 5,78. Les roues motrices qui ont 12 pouces roulent sur le plat supérieur de la poutre-guide. Le poids du tracteur est de 2 920 km environ. L'adhérence supplémentaire à fournir au moment où naît l'effort de traction est fournie par des roues formant galets presseurs agissant sous la poutre-guide. Ces roues sont montées dans des coulisses dressées avec précision. La pression des galets inférieurs ne naît que lorsqu'un effort de traction est appliqué au câble de remorque. Deux ressorts, placés sous les galets presseurs, sont ajustés légèrement pour amener les galets au contact de la poutre sans pression parasite.

Le câble de remorque est attaché soit au levier de droite, soit au levier de gauche suivant que le tracteur marche vers la gauche ou vers la droite. Il exerce une pesée sur le levier d'amarrage dont il tend à relever le petit bras. La pression d'un des leviers se transmet à l'autre levier qui est maintenu au contact par l'effet des ressorts de réglage, à l'aide d'un levier égalisateur.

Les dimensions d'encombrement du tracteur de 50 ch sont : longueur, 150 cm ; largeur, 50 cm ; hauteur, 142,5 cm.

A vide, même à grande vitesse, l'appareil n'exerce aucune autre pression sur la voie que celle résultant de son faible poids propre de 2 920 km. D'après M. Gérard, « il résiste au démarrage à des efforts de traction de 2 700 km et en marche courante il peut réaliser des efforts de 1 700 km avec un rendement de 75 0/0 à la vitesse de 5,300 km. »

Quels sont les avantages du tracteur à adhérence proportionnelle, M. Gérard les a résumés ainsi :

Rendement supérieur ;

Économie dans les frais d'établissement de la voie et d'acquisition du matériel roulant ;

Économie d'entretien.

Ces conclusions ont été vivement contestées et ont donné lieu à une longue polémique entre M. Gérard et M. Kötgen.

Sans prendre parti dans le débat, nous dirons simplement que le système américain qui exige l'installation de larges poutres de fer sur appuis en fer treillis bétonnés parait devoir entrainer au contraire, une dépense de premier établissement sensiblement plus élevée que le système français avec traction sur une seule berge du canal.

En ce qui concerne, d'autre part, le rendement, des données nouvelles nous sont fournies par les expériences qui viennent d'être effectuées en Amérique pour comparer les deux systèmes en présence : le tracteur monorail et le système birail.

Au Congrès de « The American Institute of Electrical Engineers » tenu à New-York, le 13 mars 1908, MM. Stillw et Saint-Clair Putnam ont rendu compte d'essais faits par eux pendant tout l'automne de 1907 sur une section du « Lehigh canal » près de Mauch Chunk, Pa, pour la recherche d'un système pratique de halage électrique.

Sur une partie du canal longue de 3 360 m, ils employèrent le système de la locomotive et sur une autre partie longue de 3 520 m, le système monorail.

Les locomotives employées pèsent 7 248 kg ; chacune d'elles est munie de deux moteurs de 28 ch opérant à une tension de 500 volts.

Sur la section desservie par le système monorail, ils employèrent trois machines à traction ; chacune d'elles possédait un moteur de 40 ch ; leur poids est de 2 962 kg.

Deux des tracteurs employés avaient été fabriqués dans la contrée, le troisième à Paris ; ce dernier n'était pourvu que d'un moteur de 35 ch, il était cependant supérieur aux tracteurs 1 et 2 et c'est sur lui que l'on se basa pour établir les calculs du rapport.

Les expériences répétées pendant les mois de septembre, octobre, novembre donnèrent les résultats suivants :

Bateaux.	Poids en tonnes.	Trajet parcouru en milles par heure.	Traction effective en kg.	Constante CV*T
—	—	—	—	—
4 bateaux chargés	548	2,98	2200	0,452
2 —	274	3,62	1500	0,418
1 —	137	4,00	1000	0,456
4 bateaux vides	95	4,00	1010	0,664
2 —	47,5	4,20	560	0,668
1 —	23,8	5,00	400	0,673

Des comparaisons de rendement faites entre les locomotives et les tracteurs donnèrent les résultats suivants :

	Traction effective 453 kg.	Traction effective 906 kg.	Traction effective 1359 kg
	—	—	—
Locomotive	80 0/0	83,5 0/0	84,0 0/0
Tracteur 1	68	73,3	74,8
Tracteur 3	73	77,2	77,5

Ces chiffres ne s'appliquent d'ailleurs qu'au rendement mécanique, ce qui explique leur élévation par rapport à ceux que nous avons donnés plus haut.

Conclusions.

En résumé, nous ne pensons pas que, sauf pour des cas spéciaux comme par exemple le franchissement d'un tunnel, le tracteur à adhérence proportionnelle présente une supériorité sur le tracteur birail type allemand ou français.

Ce dernier, en particulier, a fait ses preuves en assurant pendant plusieurs années l'exploitation d'un ensemble important de canaux à fort trafic.

Le problème de la traction mécanique des bateaux peut donc être considéré comme résolu par le tracteur électrique sur voie ferrée, mais l'organisation d'une semblable exploitation représente une immobilisation d'environ 25000 f par kilomètre non compris les installations de transport d'énergie et une pareille mise de fonds ne saurait se justifier que là où le trafic dépasse 2 millions de tonnes par an.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. Henry CHAPMAN

Henry Chapman naquit à Dieppe le 14 mars 1835; il était fils de George Chapman qui fut, pendant près d'un demi-siècle, consul d'Angleterre dans cette ville.

Après avoir fait ses études dans une institution privée, à Lewes, son goût pour les mathématiques détermina son choix pour la carrière d'Ingénieur.

A dix-sept ans, il entrait dans les usines de MM. Sharp, Stewart et C[ie], de Manchester, et passait successivement dans les différents services. En 1857, M. Stewart l'envoyait à Paris pour représenter sa maison, et, dès l'année suivante, Chapman y fondait un bureau d'Ingénieur conseil, auquel il adjoignait la représentation de plusieurs maisons anglaises.

A cette époque, il introduisit en France les machines-outils, et ce fut à lui que, plus tard, on dut l'application faite à Toulon, par M. Marc Berrier-Fontaine, et l'installation complète dans l'atelier de chaudronnerie de l'arsenal, des machines-outils hydrauliques de Tweddell : machines à emboutir, à poinçonner, à cintrer, à river, etc. Ces machines excitèrent au plus haut point l'intérêt des Ingénieurs, et se répandirent bientôt dans l'industrie.

Désireux de faire profiter la France de tous les progrès réalisés dans l'industrie anglaise, Chapman y introduisait bientôt la chaudière Field, la machine à trois cylindres, ainsi que les compresseurs d'air pour torpilles, dus à Brotherhood, la pompe à incendie à vapeur de Merryweather, les foyers ondulés pour chaudières marines de Fox, le marteau-pilon à vapeur de Sellers, dont le premier fut employé par l'arsenal de Cherbourg, les machines à meules d'émeri et les appareils frigorifiques de Sterne, ainsi que nombre de produits ou procédés de moindre

importance. Il fit aussi profiter l'industrie de la bonneterie, des inventions de Paget.

Chapman ne négligeait pas non plus de faire valoir à l'étranger les inventions françaises, et ce fut ainsi qu'il fit exploiter, avec le plus grand succès, en Angleterre et en Amérique, les brevets de l'injecteur Giffard dû au génie inventif de notre regretté Collègue.

Lors de la guerre de 1870, Chapman avait fondé, à Londres, un bureau d'où il dirigea, pendant quelque temps, ses affaires sur le continent. Mais il conserva toujours, comme maison principale, son bureau de Paris, qui existe encore sous la direction de notre Collègue Henri Vaslin qui fut, pendant de longues années, son collaborateur et son associé.

Chapman s'occupa activement aussi de l'utilisation de l'eau sous haute pression, dont il avait reconnu les nombreux avantages dans l'application faite aux outils hydrauliques. C'est ainsi qu'il devint un des promoteurs et administrateurs de « The Hull Hydraulic Power Company » et des Sociétés similaires de Londres et de Liverpool, dont il fut, plus tard, Président, et qui avaient pour objet la distribution, dans les villes, de l'eau à la pression de 50 atm, pour la manœuvre des appareils de levage, des ascenseurs, des cabestans et autres engins.

Chapman, qui prenait également un vif intérêt aux questions d'ordre social, fut un des fondateurs de « The Employers Liability Assurance Corporation », fondée en Angleterre, lorsque le Parlement déclara les employeurs responsables des accidents. Dès le début, il fut Administrateur de cette Société, et, dans ces dernières années, Vice-Président.

Il était membre de « The Iron and Steel Institute, The Institution of Civil Engineers, The Institution of Naval Architects », et de « The Institution of Mechanical Engineers », Société avec laquelle il eut les plus étroits rapports. Il en devint Membre en 1866, fit partie du Comité de 1878 à 1880; fut réélu en 1899 et devint Vice-Président en 1907. Durant les Congrès tenus à Paris en 1867, 1878 et 1889, il agit comme Secrétaire honoraire et rendit de signalés services. Il remplit les mêmes fonctions pour « The Iron and Steel Institute » durant leur Congrès, à Paris, en 1889.

Il exerça une influence prépondérante lors des grandes Expositions internationales de 1878 et de 1889, à la suite desquelles le Gouvernement français le nomma Chevalier, puis Officier de

la Légion d'honneur. Mais rien ne lui était plus cher que son titre de Membre à vie de la Société des Ingénieurs Civils de France, dont il faisait partie depuis 1871. Lorsqu'il retourna en Angleterre, il voulut bien accepter les fonctions de Membre correspondant de notre Société, et les Collègues que nous lui adressions étaient toujours sûrs de trouver auprès de lui l'accueil le plus cordial et le plus chaleureux.

Il souffrait, depuis un an déjà, d'une maladie de cœur, lorsque son état s'aggrava brusquement, et la mort vint le frapper presque subitement le 18 octobre dernier, l'arrachant à l'affection de sa femme et de ses fils et fille.

Il laisse parmi nous le souvenir d'un homme éminent, accueillant et bon, dont les conseils éclairés nous furent souvent des plus utiles.

CHRONIQUE

N° 345-346

SOMMAIRE. — Les turbines à vapeur. — La vitesse du piston dans les machines à vapeur. — Une machine à vapeur de 25 000 ch pour commande de laminoirs. — Le navire le plus rapide du monde. — Réparation d'une grosse conduite sous l'eau. — La navigation intérieure en Allemagne, de 1875 à 1905. — Les industries de l'âge de pierre *(suite et fin)*. — Comparaison entre l'alcool et la gazoline pour les moteurs à explosion. — Les traverses de chemins de fer aux États-Unis.

Les turbines à vapeur. — Nous croyons intéressant de donner ici, d'après l'*Engineer*, le résumé d'une conférence faite le 7 mars dernier, devant l'Association des Ingénieurs de Manchester, par M. S. L. Pearce, sur les turbines à vapeur.

L'auteur, après avoir dit quelques mots des premières turbines à vapeur, expose les principes et les détails de construction des types actuels et fait la comparaison des modèles de Laval, Zoelly, Curtis et Pârsons.

La première ne semble pas se prêter aux applications demandant de grosses unités. Quant aux trois autres, on peut dire qu'avec les deux premières on peut atteindre en pratique un effet utile de 70 0/0, bien que 65 0/0 soit plus couramment réalisable, avec, toutefois, un maximum possible de 80.

La turbine Zoelly peut présenter un léger avantage sur la turbine Curtis en ce que, si une fuite se produit entre les étages successifs, la vapeur qui a passé se détend utilement dans les aubages suivants. D'autre part, les fuites sont aussi à craindre avec la turbine Curtis qu'avec celle de Parsons, à moins qu'il n'existe un joint étanche entre les étages successifs.

Avec le type Parsons, on peut atteindre un maximum d'effet utile de 83 0/0, mais il est prudent de ne compter en pratique que sur 65 à cause des fuites possibles.

Au point de vue de l'effet utile, la turbine Parsons paraît tenir la tête, mais il n'existe pas en sa faveur une supériorité telle qu'on puisse baser sur cet élément un jugement définitif sur les trois modèles dont nous parlons.

On peut baser une comparaison sur la question de construction pour en tirer des motifs de préférence et on peut en tirer une opinion favorable à la turbine à impulsion, mais il semble que, si on tient compte de la dépense de vapeur, la turbine Parsons a peu à craindre de ses concurrentes. Il est possible d'assurer les avantages du type Zoelly à celui de Curtis par l'accroissement du nombre des étages successifs. Sur le continent, il parait se dessiner un mouvement en faveur de la

turbine compound à impulsion. Quant à l'auteur, il ne cache pas sa préférence pour la turbine Zoelly.

M. Pearce procède à une comparaison entre les dépenses d'établissement et de service d'une machine alternative et d'une turbine.

Si on prend une puissance de 1 800 kw, on peut admettre que l'entretien et les réparations coûteront par an, pour une turbine à vapeur, 3 150 f et, pour une machine alternative, 4 050 f. Quant au graissage, la machine alternative dépensera environ le triple.

Sous le rapport des dépenses de premier établissement, M. Pearce donne le tableau suivant, dont les chiffres sont empruntés à sa pratique personnelle s'étendant sur plusieurs années.

Dates.	Capacité.	Coût par kilowatt — Machines alternatives.	Coût par kilowatt — Turbines.
—	—	—	—
	kilowatt	f	f
1900 et 1904 . . .	750	200	105
1899 et 1901 . . .	1 800	150	109
1901	1 500	132	—
1902	3 750	141	—
1905	6 000	—	66

On voit que, dans le premier exemple, la dépense est de 250 f par kilowatt pour la machine alternative et de 210 f pour la turbine, et, pour le second exemple, de 250 f pour la première et 200 pour la seconde, chiffres peu différents des premiers. Ces données comprennent les condenseurs accessoires qui ne sont pas comptés dans les valeurs données dans le tableau.

Voici maintenant les consommations de vapeur telles qu'elles ont été obtenues dans des expériences faites sur les machines alternatives et les turbines des stations d'électricité de Manchester à diverses puissances.

Il y a encore un élément dont il est quelquefois nécessaire de tenir compte, c'est l'emplacement occupé par les deux espèces de moteurs. Voici ce qu'on peut dire : pour une capacité de 3000 kw et plus, on peut estimer la surface horizontale par kilowatt à 93 cm^2 pour les turbines à vapeur et à 325 pour les machines alternatives, ce qui équivaut à 108 kw par mètre carré pour les premières et 31 pour les secondes.

L'auteur peut citer comme exemple la chambre auxiliaire des moteurs à Short street qui peut loger une capacité en turbines quadruple de celle qu'elle pourrait recevoir en machines alternatives.

M. Pearce dit que, si on compare l'effet utile des deux moteurs, au point de vue thermodynamique, la supériorité de la machine alternative ressort clairement, et il estime cet avantage à 15 0/0 environ. Les raisons qu'il en donne paraissent peu compréhensibles. Il ne trouve pas qu'il y ait encore intérêt à adopter la turbine pour des puissances de 500 kw et au-dessous. D'un autre côté, lorsqu'on dispose de quantités suffisantes d'eau de condensation pour des unités de 3 000 à 5 000 kw, la turbine est, sans aucune contestation, à l'heure actuelle, le moteur par excellence pour les applications électriques.

TURBINES N° 2 *(Dickinson Street)*.

AMPÈRES	VOLTS	KILOWATTS	CHEVAUX INDIQUÉS	PRESSION	VIDE	SURCHAUFFE	VAPEUR par heure	VAPEUR par kilowatt-heure
				kg	m	degrés	kg	kg
500	440	220	»	9,2	0,692	71,6	5 422	25,14
1 000	443	443	»	9,2	0,692	73,2	6 546	14,63
1 500	440	660	»	9,2	0,692	75	7 520	11,37
2 000	440	880	»	9,2	0,692	75	8 970	10,15
2 500	438	1 095	»	9,2	0,692	73,2	10 337	9,33
3 000	439	1 317	»	9,2	0,692	74,4	11 415	8,79
3 500	443	1 557,5	»	9,2	0,692	74	13 500	8,61
4 000	439	1 756	2 660	9,2	0,692	74	15 140	8,50
4 700	430	2 021	»	9,2	0,692	74	17 305	8,50

Machines alternatives N° 3 (*Bloom Street*).

AMPÈRES	VOLTS	KILOWATTS	CHEVAUX INDIQUÉS	PRESSION	VIDE	SURCHAUFFE	VAPEUR par heure	VAPEUR par kilowatt-heure
				kg	m	degrés	kg	kg
500	442	221	332	11,4	0,705	48	2 972	13,50
1 000	442	442	655	11,4	0,703	47	8 534	11,80
1 500	440	650	1 007	11,4	0,703	47	7 886	10,50
2 000	439	378	1 330	11,4	0,703	52	8 266	9,38
2 500	439	1 097,5	1 630	11,4	0,698	53	9 830	8,83
3 000	439	1 317	2 000	11,4	0,698	52,5	10 736	8,20
3 500	444	1 554	2 550	11,4	0,686	50,5	12 457	8,02
4 000	438	1 752	2 655	11,4	0,686	48	13 815	7,93
4 500	438	1 971	2 950	11,4	0,673	44,5	15 720	8,06
5 000	444	2 220	3 350	11,4	0,673	44,5	18 685	8,54

La vitesse du piston dans les machines à vapeur. — Nous donnons ici le résumé d'une note de M. Frederick Strickland sur les limites de la vitesse du piston dans les machines à vapeur.

Dans toutes les circonstances où les questions de poids, d'encombrement ou de coût de premier établissement ont de l'importance, on a un intérêt évident à faire tourner les machines à la plus grande vitesse possible ; on peut ainsi faire donner à un petit moteur une puissance relativement considérable. Ainsi s'explique la tendance actuelle à augmenter la vitesse ; on en trouve des exemples dans les locomotives, les torpilleurs, les automobiles, etc., applications dans lesquelles la réduction de poids joue un grand rôle. Mais il y a des limites qu'il ne faut pas dépasser, pour diverses raisons, dont les suivantes sont les principales :

1° La difficulté d'avoir des lumières assez grandes dans les cylindres ;
2° L'usure excessive des moteurs.

La première objection n'a pas autant de gravité que la seconde ; en fait, la plupart des machines n'ont pas des lumières aussi larges qu'il le faudrait et, en pratique, on doit admettre que la limite de vitesse se trouve imposée par les considérations relatives à l'usure qui doit être maintenue dans des proportions modérées. Cette usure est due presque entièrement au poids des pièces animées d'un mouvement alternatif, telles que pistons et leurs tiges, bielles, etc., qui doivent être arrêtées et remises en mouvement deux fois par tour. Lorsqu'il n'y a pas de pièces animées de mouvements alternatifs, comme, par exemple, dans les turbines, dynamos, etc., on peut atteindre des vitesses bien supérieures, sans avoir à redouter une usure considérable.

D'autre part, si une machine alternative est lancée à des vitesses croissantes, il arrive un moment où les frottements intérieurs augmentent et amènent l'échauffement des pièces et une perte de travail et une usure correspondantes. Ce fait a été mis en lumière d'une façon remarquable dans une communication sur les locomotives compound à l'*Institution of Mechanical Engineers*, en avril 1904 ; on a vu qu'une faible réduction dans le diamètre des roues motrices amenait un accroissement considérable des résistances intérieures aux vitesses élevées et aussi qu'il existait une vitesse critique à laquelle les frottements croissaient rapidement, cette vitesse dépendant du diamètre des roues et, par conséquent, du nombre de tours. Il s'ensuit que si on pouvait annuler le poids des pièces en mouvement alternatif, il n'y aurait pas de résistance intérieure due à leur inertie et alors la vitesse à laquelle une machine de dimensions données pourrait fonctionner sans frottements excessifs est simplement une fonction du poids des pièces en mouvement alternatif.

Ce résultat a été réalisé par les fabricants d'automobiles et on peut dire que le succès du moteur à pétrole à grande vitesse de nos jours est dû à la légèreté donnée aux pièces du mécanisme.

Au début, les véhicules étaient munis de moteurs différant peu des moteurs fixes à gaz, mais construits plus légèrement. Ces moteurs tournaient à 900 tours par minute et donnaient leur maximum de puissance à cette allure, toute tentative d'augmenter la vitesse amenant un accrois-

sement de résistance tel que le travail mesuré au frein diminuait. Le poids du piston de 0,10 m de diamètre était de 3 à 4,5 kg. D'autre part, de Dion, en construisant ses tricycles à moteur, avait dû réduire le poids des machines et, dans ce but, avait porté le nombre de tours à 2000. Il s'aperçut bientôt que, pour réussir, il était nécessaire de réduire le poids du mécanisme; dans ce but il donna aux bielles une section en forme de T, employa des axes en acier trempé de petit diamètre, des pistons aussi légers que le permettait la résistance aux efforts et appliqua bientôt ces mêmes principes aux moteurs des voitures. Dans celles-ci, les pistons de 0,10 m ne pèsent plus que 1,60 kg y compris les segments, l'axe du pied de bielle et la moitié de celle-ci; aussi ces machines peuvent-elles tourner à des vitesses surprenantes. La vitesse normale d'une machine de 6,5 à 8 ch peut dépasser notablement 1 500 tours par minute et aller beaucoup au delà si c'est nécessaire. Il n'y a aucune difficulté à dépasser 2000 tours pendant plusieurs heures et à atteindre momentanément 2 500. Ces chiffres correspondent à des vitesses de piston de 335 — 492 et 549 m par minute, vitesses remarquables si on considère que ces moteurs sont placés entre les mains de gens peu experts en mécanique.

En fait, les moteurs peuvent atteindre sans inconvénient des vitesses bien supérieures au maximum qu'il est désirable de ne pas dépasser à cause du bruit et des inconvénients au point de vue de la transmission; ce sont ces points et non l'usure de la machine qui conduisent à modérer les vitesses de fonctionnement.

On trouve en pratique que, malgré les vitesses élevées de marche, ces moteurs sont sujets à très peu de difficultés et ne nécessitent pas un entretien coûteux ; il suffit de remplacer quelques bagues après des parcours de 15 000 à 25 000 km.

Les anciens moteurs beaucoup plus lourds, avec leurs mécanismes relativement pesants, usaient autant leurs coussinets en tournant à 700 à 1 000 tours que les moteurs de Dion à 1 500 et plus, et cela en développant à peine plus de la moitié de la puissance de ceux-ci pour le même diamètre de pistons. Cette initiative a été suivie par les autres constructeurs et aujourd'hui tous les moteurs à pétrole marchent à des vitesses très élevées; c'est cette circonstance plus que toute autre qui a permis d'augmenter la vitesse des automobiles et l'élasticité des moteurs.

L'auteur n'a pas connaissance d'expérience sur les rapports entre le poids des pièces en mouvement, la vitesse et les résistances intérieures. Des considérations théoriques semblent indiquer que les frottements résultant de l'inertie des pièces mobiles doivent être proportionnels au moment, c'est-à-dire que, pour une course donnée, ils seraient proportionnels au poids des pièces multiplié par le nombre de tours. S'il en était ainsi, la vitesse à laquelle on pourrait faire tourner une machine avec une proportion donnée de résistances internes serait inversement proportionnelle à la racine carrée du poids des pièces mobiles.

L'expérience acquise avec les moteurs à pétrole à grande vitesse, soit sur la base d'épreuve, soit en marche régulière, parait indiquer que les choses se passent ainsi, c'est-à-dire que si le poids des pièces mobiles est réduit, par exemple, à la moitié, le moteur pourra tourner une fois

et demie plus vite avec la même proportion de résistances internes.

Même à des vitesses relativement modérées et avec des mécanismes légers, la résistance due à l'inertie est loin d'être négligeable.

L'auteur a fait des expériences sur une machine dont la vitesse du piston avait été limitée, par suite de considérations particulières, à environ 244 m par minute et dont le piston avait été fait aussi léger qu'on pouvait l'établir en fonte. On l'a remplacé ensuite par un piston en aluminium; on a pu, avec une charge donnée, accroître la vitesse de 15 0/0, les autres conditions restant les mêmes. L'aluminium était trop tendre pour donner de bons résultats d'une manière permanente, mais il peut résister pendant un parcours expérimental de plusieurs centaines de kilomètres.

Dans les machines à vapeur, les résistances internes dues aux parties en mouvement sont considérablement affectées par la distribution de la vapeur; ainsi théoriquement, s'il y avait assez de compression, il n'y aurait pas d'efforts dus à l'inertie. Ces efforts atteignent, au contraire, leur maximum avec des pièces de mécanismes pesantes et une introduction prolongée, parce qu'alors la compression est faible. L'auteur a pu constater, dans des conditions de ce genre, en expérimentant avec une petite machine d'embarcation, des résistances internes représentant 35 0/0 du travail indiqué, avec des vitesses de piston très modérées. Cette proportion était excessive et elle a été très réduite par l'emploi d'une admission plus courte et d'une compression plus forte.

C'est probablement à cause du mode particulier de distribution de la vapeur, impliquant une admission faible et une compression excessive, que les locomotives peuvent fonctionner à des vitesses de piston considérables sans donner lieu aux échauffements qu'on éprouve avec les machines marines marchant à peu près aux même vitesses et pour lesquelles il faut si souvent recourir à l'arrosage des portées des arbres. Si toutefois le poids des pièces mobiles peut être compensé dans une certaine mesure par les moyens que nous venons d'indiquer, les faits cités à la réunion de l'Institution of Mechanical Engineers que nous avons citée semblent montrer qu'on peut y arriver jusqu'à une certaine vitesse et qu'en conséquence il serait très avantageux d'étudier la question à fond pour voir si on ne pourrait arriver à employer des roues de diamètre réduit sans avoir à craindre des frottements exagérés.

On a indiqué qu'une réduction de 0,15 m dans le diamètre des roues correspondrait à un accroissement énorme de résistance à des vitesses de 100 km à l'heure; mais, si on pouvait réduire le poids des pièces du mécanisme de la locomotive à roues de plus petit diamètre de 15 0/0 environ, le frottement serait sensiblement le même qu'avec les grandes roues. Il serait intéressant de soumettre la question à l'épreuve de l'expérience.

Dans les machines de torpilleurs la réduction, du poids des pièces en mouvement a été étudiée avec beaucoup de soin, notamment par M. Normand dont les machines ont un aspect de légèreté étonnant; mais il y a encore bien des moteurs à grande vitesse dans lesquels on pourrait facilement enlever 20 0/0 et plus de poids sur les pièces du mécanisme; si cet allégement entrainait une certaine dépense, on la regagnerait

largement parce que, les machines pouvant tourner plus vite, deviendraient, à puissance égale, plus légères et moins coûteuses.

Non seulement le poids des pièces mobiles affecte les résistances propres, mais encore l'équilibre. On a étudié très complètement les moyens d'équilibrer les mécanismes et on a trop souvent perdu de vue que le meilleur moyen d'éviter les vibrations est de réduire le poids des pièces à équilibrer. Dans les petits moteurs à un seul cylindre pour automobiles, on ne peut équilibrer complètement le poids du piston; si on ne réduit pas autant que possible ce poids, on ne pourra éviter des vibrations considérables.

Une machine de 25.000 ch pour laminoirs. — Une machine qui paraît être la plus puissante qu'on ait encore construite pour usage sur terre est une machine faite par la Compagnie Allis-Chalmers pour les établissements de South-Sharon de la Carnegie Steel C°. C'est un moteur horizontal compound tandem à condensation, actionnant directement un train blooming. Ce moteur est double ; une des paires de cylindres actionne une manivelle simple terminant l'arbre, et l'autre paire un coude pratiqué à une partie intermédiaire de cet arbre.

Les cylindres à haute pression ont 1,067 m de diamètre, et les cylindres à basse pression 1,778 m ; la course commune est de 1,372 m. Les premiers ont un tiroir cylindrique et les seconds en ont deux. Tous les cylindres ont à leurs deux extrémités des soupapes de purge pour l'évacuation de l'eau condensée.

Les bâtis sont extrêmement massifs ; l'un pèse 95 500 kg et l'autre 115 000 kg (parce que le second porte deux paliers pour l'arbre, tandis que le premier n'en a qu'un). Ces bâtis portent les glissières qui guident les têtes de tiges de pistons. Dans chaque bâti se trouve, venu de fonte, un récipient pour l'huile qui tombe des grosses têtes de bielles, des paliers et des crosses de pistons. Les coussinets des pièces tournantes sont garnis de métal blanc.

L'arbre coudé est creux ; il est fait en acier coulé sur sole et forgé ; le coude à deux manivelles est venu de forge. La manivelle extérieure est faite de la même matière, forgée et posée à chaud sur le bout de l'arbre. Les contrepoids sont en acier coulé ; ils sont fixés sur des projections qui terminent les manivelles du côté opposé aux boutons.

Les crosses de têtes de pistons sont en acier coulé et garnies de métal blanc, avec rattrapage de jeu dans les parties portant sur les glissières. Les boutons sont fixés avec une partie conique et on peut les démonter facilement ; les bielles motrices sont en acier forgé avec des coussinets en bronze aux deux extrémités. Les tiges de pistons sont en acier forgé ; celles des cylindres à basse pression sont creuses, elles ont 0,42 m de diamètre. Le poids de ces pistons est soutenu par une glissière disposée entre les deux cylindres de chaque paire.

Les machines sont du type *Reversing* ; le changement de sens de la marche s'opère par un mécanisme à un seul excentrique du type radial et du genre connu sous le nom de Marshall. La commande se fait par un cylindre à vapeur accouplé à un cylindre à huile, dont les mouvements sont déterminés par le déplacement d'un levier actionné par le

mécanicien. De même l'arrivée de la vapeur aux cylindres est contrôlée par un dispositif du même genre.

La machine est reliée directement au train blooming par l'extrémité de son arbre à manivelles. Le passage de la vapeur du cylindre à haute pression au cylindre à basse de chaque paire se fait par un tuyau dont le diamètre est de 0,61 m. La conduite amenant la vapeur pour les deux machines a 0,508 m de diamètre.

Les axes des deux paires de cylindres sont écartés de 5,07 m. La plaque de fondation qui porte l'ensemble de l'appareil a une longueur de 16,65 m et une largeur de 8,02 m. La hauteur de la partie la plus élevée, tuyaux de communication entre les cylindres et le sol, est de 3,38 m. L'arbre moteur a 0,718 m de diamètre entre les manivelles. On peut juger par ces quelques chiffres des dimensions de cette colossale machine.

Nous allons vérifier par un calcul approximatif si cet appareil peut fournir la force annoncée de 25 000 ch indiqués, soit 1 875 000 kgm par seconde.

Nous supposerons une pression absolue de 11 kg à l'entrée de la machine ; une admission de 75 0/0 de la course aux cylindres à haute pression, ce qui, avec un rapport de volumes des cylindres de 2,72, donne une expansion totale de 3,6 volumes, correspondant à une admission fictive dans un seul cylindre de 0,275 de la course. L'ordonnée moyenne serait de 0,63 de la pression initiale, soit $0{,}63 \times 11 = 6{,}9$ kg.

Le cylindre à basse pression, tige déduite, a une section de 2.349 m², soit 4,698 pour les deux. L'effort total sur les pistons est donc de $4{,}698 \times 6{,}9$ kg $= 334\,200$ kg en nombre rond. La vitesse par seconde, pour un tour de l'arbre dans le même temps, est de $1\,372 \times 2 = 2\,744$ m, ce qui donne un travail brut sur les pistons ou travail indiqué de $334\,200 \times 2\,794 = 917\,000$ kgm par seconde. Pour réaliser le travail total de 25 000 ch ou 1 875 000 kgm, il faut que l'arbre fasse 2,05 tours par seconde ou 123 par minute, ce qui parait très facile à réaliser. La vitesse des pistons sera, dans ces conditions, de $2{,}744$ m $\times 2{,}05 =$ 5,62 m par seconde.

Le navire le plus rapide du monde. — A la suite des essais des navires de guerre *Chester* et *Indomitable*, l'un américain et l'autre anglais, on a discuté pour savoir lequel des deux pouvait être considéré comme tenant le record de la vitesse. Sur ces entrefaites, la marine britannique a mis en service un destroyer d'un type spécial portant le nom de *Swift*. La question a, dès lors, été tranchée, car, dans ses essais préliminaires, ce navire a réalisé une vitesse de 38,3 nœuds, soit 70,9 km à l'heure, vitesse supérieure de 3 nœuds à la plus grande obtenue jusqu'ici dans un essai de quatre heures, et on suppose qu'avec une modification des hélices, on pourra encore obtenir quelque chose de plus.

Le *Swift* a été mis en chantier en octobre 1906 chez MM. Cammell, Laird et Cie, à Birkenhead, et construit sur les plans de cette maison, modifiés par sir Philip Watts, directeur des constructions navales de la marine britannique. Son déplacement est exactement double de celui

des plus grands destroyers construits jusqu'ici ; il atteint, en effet, 1 800 tx. Sa longueur, 105,22 m, n'est inférieure que de 0.915 m à celle du navire de guerre américain *Indiana*, qui déplace 10 300 tx. Sa largeur est de 10,42 m, ce qui fait un peu moins du dixième de la longueur, et le tirant d'eau moyen est de 3,20 m.

Le *Swift*, comme tous les récents navires de guerre anglais, est actionné par des turbines du type Parsons, établies pour développer la force prodigieuse de 30 000 ch et assurer au navire une vitesse de 36 nœuds. Ces turbines sont disposées dans deux compartiments et font tourner quatre arbres portant chacun une hélice. Les chaudières sont chauffées au combustible liquide dont le navire peut prendre 180 t. C'est la quantité portée par les destroyers de 33 nœuds du type *Tartar*, qui sont venus immédiatement avant celui dont nous nous occupons. L'armement du *Swift* est limité à quatre canons de 4 pouces à tir rapide et deux tubes-torpilles de 18 pouces.

En dehors de sa vitesse extraordinaire, le nouveau destroyer se distingue par l'énormité de son coût. La coque et l'appareil moteur représentent une dépense de 6 435 000 f et l'armement 75 000 f, ce qui donne un total de 6 510 000 f. C'est un beau prix pour un navire de 1 800 tx de déplacement, qui n'a, pour ainsi dire, aucune valeur militaire, surtout si on met ce prix en regard de ceux des navires de guerre des marines anglaise et américaine, qu'on peut voir dans le tableau comparatif ci-dessous.

NAVIRES	TYPE	DÉPLACEMENT	VITESSE (projetée)	ARMEMENT		COUT
		t	nœud	canons	pouces	f
Swift, anglais . .	Destroyer.	1 800	36	4	4	6 510 000
Adventure, anglais.	Scout.	2 940	25	10	8	5 940 000
Amethyst, —	Croiseur.	3 000	23	12	4	5 940 000
Chester, États-Unis.	Scout.	8 750	26	2 6	5 3	8 450 000 (1)

(1) Armement non compris.

Ce qui cause pour la plus grande partie le prix élevé du *Swift* est la grande vitesse qu'on a voulu assurer à ce navire. Il peut être intéressant d'indiquer ici que, si l'*Indomitable* avait été fait pour donner 23 nœuds seulement au lieu de 25, son coût eût été de 7 500 000 f inférieur à ce qu'on a dépensé pour sa construction, et si le *Dreadnought* avait été fait pour donner 18,5 nœuds au lieu de 21, on aurait économisé 10 750 000 f. dans ses dépenses d'établissement. Comme la Grande-Bretagne possède actuellement quatre navires du type *Indomitable* et huit du type *Dreadnought*, elle aurait dépensé de moins quelque chose comme 120 millions de francs, somme suffisante pour construire trois autres bâtiments de guerre de l'échantillon des précédents.

On ne sait pas si l'Amirauté anglaise a l'intention de reproduire le *Swift*, cela paraît peu probable. A une époque où on a de la peine à trouver assez d'argent pour assurer la défense nationale, on peut espérer que la marine britannique trouvera des moyens de placer ses ressources dans des sujets plus utiles que dans la réalisation de vitesses, assurément très remarquables, mais dont la valeur, au point de vue militaire, est très limitée. Nous reproduisons ce qui précède du *Scientific American*.

Réparation d'une grosse conduite sous l'eau. — Nous donnons ici la description d'un travail tout à fait exceptionnel, la réparation d'une conduite de 1,83 m de diamètre immergée sous une hauteur d'eau de 9,15 m. Cette conduite fait partie du réseau qui alimente Jersey City; elle est immergée au fond de la rivière Hackensack.

Il n'est pas inutile de dire ici quelques mots de la manière dont la conduite en question fut mise en place. Cette opération eut lieu en 1902. La conduite en tôle d'acier rivetée de 17,5 mm d'épaisseur était fournie en bouts de 8,54 m environ; on assemblait ces bouts sur la berge de la rivière sur un échafaudage et une fois la conduite assemblée, on l'enveloppait d'anneaux de béton façonnés préalablement dans des moules de manière à former un revêtement continu. La conduite ainsi formée était chargée sur des bateaux et descendue dans une tranchée pratiquée à la drague dans le lit de la rivière.

La longueur immergée est de 256 m.

Le tuyau pèse 900 kg en nombre rond par mètre courant. La partie immergée est rigide sans joints articulés, avec des courbes dans le plan vertical correspondant au profil du lit; elle est placée dans une tranchée de 4,50 m de largeur au fond avec des talus de 1,40 m. Le revêtement en béton a un diamètre extérieur de 2,35 m et pèse 4 530 kg par longueur de 5 pieds, ce qui donne 2 475 kg par mètre courant. Le poids total par mètre courant de la conduite revêtue est ainsi de 3 375 kg.

Dès la mise en place et lorsqu'on commençait à remplir la conduite d'eau, il paraît s'être produit une rupture dans un joint vers le milieu de la longueur. On constata cette rupture le 15 décembre 1902, dès que le tuyau fut rempli et avant qu'on eût raccordé les extrémités aux conduites aboutissant. Après de longues discussions sur la nature de l'avarie et les moyens à employer pour la réparer, on décida de fermer les deux extrémités de la conduite, de refouler l'eau au dehors au moyen d'air comprimé et de pénétrer dans l'intérieur par les bouts pour vérifier l'état des choses.

Après avoir éprouvé beaucoup de difficultés, on parvint à chasser l'eau et on put entrer dans la conduite le 10 janvier 1903. On reconnut que le tuyau s'était ouvert sur la circonférence inférieure et qu'il existait une ouverture de 62,5 mm. On fit la réparation en doublant la paroi à l'intérieur par une tôle cintrée fixée à cette paroi par des boulons; ce travail fut achevé le 10 février 1903, soit deux mois environ après qu'on eut constaté l'avarie. On n'éprouva pas d'autre difficulté jusqu'en 1904, où il se produisit une fuite dans la conduite. Cette fuite se faisait reconnaître par le bruit de l'eau s'échappant, bruit que l'on entendait parfaitement d'un bateau placé au-dessus. En novembre 1904, on fit faire par

un plongeur un examen extérieur de la conduite, mais on ne constata pas d'autre trace de la fuite que le bruit; seulement on reconnut qu'il se perdait beaucoup d'eau entre Boonton et Jersey City. On fit des jaugeages répétés au moyen de l'appareil de Venturi et on trouva que la perte allait en croissant au point d'atteindre le chiffre énorme de 20 000 à 22 000 m³ par 24 heures.

A la fin de 1907, on fit de nouveau examiner l'extérieur de la conduite par un plongeur; cet examen, opéré le 7 octobre, fit reconnaître qu'il se produisait une fuite abondante à 24 m environ de la rive ouest de la rivière et sous 9,15 m d'eau. Le plongeur rapporta que la force du courant produit par cette fuite était assez grand pour le jeter sur le côté lorsqu'il passait devant elle. L'eau sous pression sortait par une ouverture dans l'enveloppe en béton de 0,25 m environ de côté; en outre, la résistance de l'eau sortant par cette ouverture était telle qu'il était impossible de chercher à se rendre compte de l'état du métal du tuyau dans l'ouverture. Les informations recueillies du plongeur et la perte énorme d'eau suffisaient pour qu'on dût se préoccuper d'opérer sans retard les réparations nécessaires.

On décida d'abord de ne pas recourir à l'emploi de l'air comprimé pour mettre la conduite à sec et cela pour cause d'économie, et on prit des dispositions pour épuiser simplement à l'aide de pompes.

L'emplacement de la conduite dans la rivière Hackensack est à 1 600 m environ du point le plus rapproché où on peut accéder par voie carrossable et à peu près à la même distance d'un endroit où on peut trouver de la force motrice. On pensa à actionner les pompes d'épuisement par un courant électrique, mais on fut obligé d'y renoncer à cause de la dépense excessive, et, après avoir rejeté successivement divers systèmes, on fut obligé d'en revenir à l'emploi de l'air comprimé.

On se procura à New-York un matériel de compression avec moteur à vapeur et chaudière qu'on amena sur place par eau et qu'on installa sur la rive ouest de la rivière.

Pour ne pas être obligé de couper la conduite pour pouvoir y pénétrer, on installa aux deux extrémités des bouts de tuyaux de 1,22 m de diamètre, munis de vannes de la même dimension, de manière à faire des espèces de chambres d'équilibre pour donner accès à la conduite. L'air était amené par des tuyaux de 75 mm de diamètre raccordés à vis.

Le 1er décembre 1907, on commença à comprimer l'air dans la conduite; on n'éprouva aucune difficulté à refouler l'eau jusqu'à ce que le niveau fut descendu jusqu'à la partie supérieure de l'orifice par lequel se produisait la fuite; mais à partir de ce moment l'air s'échappa par cet orifice et on ne put faire baisser l'eau davantage. On essaya de boucher partiellement le trou, mais le travail dans cette saison, par un froid rigoureux, était très pénible et on eut beaucoup de mal sans arriver à de grands résultats en employant des planches, de l'étoupe, de l'argile, etc. Enfin, l'Ingénieur chargé de la direction du travail revêtu d'un costume de plongeur descendit sous l'eau et réussit à boucher le trou avec de l'argile, ce qui permit de continuer l'évacuation de l'eau jusqu'à un degré suffisant pour permettre aux ouvriers de pénétrer

dans la conduite. On constata alors que le tuyau était fendu sur les six dixièmes de la circonférence et présentait des ouvertures de 9 à 12 mm.

Les travaux dont nous venons de parler prirent deux jours, et, comme Jersey City manquait d'eau, on fut obligé de remettre en service la conduite de 1,83 m. Cette nécessité de ne pas interrompre plus de 48 heures le service d'alimentation de la ville fit voir qu'il n'était pas possible d'effectuer la réparation par le moyen employé en 1903; il fallait trouver autre chose.

Après avoir beaucoup discuté la question, on reconnut que le seul moyen praticable dans ces conditions consistait à mettre dans la conduite un anneau intérieur et on pensa tout d'abord à faire cet anneau en fonte, mais l'objection du poids des pièces à manœuvrer fit rejeter la fonte et on revint à l'emploi de la tôle d'acier. L'anneau fut fait de trois feuilles de 0,61 m de largeur sur 1,83 m de longueur, réunies ensemble par des cornières rivetées sur les tôles et boulonnées ensemble.

Il fallait interposer entre la paroi de la conduite et l'anneau une matière formant joint étanche : le choix de cette matière était assez délicat. On examina l'emploi d'un ciment breveté qui présentait des avantages mais qu'on dut rejeter, parce qu'il lui fallait plus de 24 heures pour durcir suffisamment pour qu'on pût le mettre en contact avec l'eau. On ne pouvait pas non plus se servir de plomb à cause de l'impossibilité de le couler dans le joint. On finit par se décider en faveur de la laine de plomb qui est très facile à mettre en place même sous l'eau et qu'on peut matter sous une épaisseur quelconque.

On fit tous les préparatifs d'avance sans interrompre le service des eaux et on commença le travail le 19 décembre. L'eau fut arrêtée à 8 h. 45 m. du matin; on commença l'épuisement et on amena les matériaux dès que la conduite fut à sec; ces opérations préliminaires étaient achevées à 6 heures du soir. On passa la nuit à mettre en place l'anneau intérieur; on avait préalablement bouché l'orifice de la fuite avec du chanvre mélangé d'argile pour préserver la lame de plomb du contact direct de l'eau de la rivière. On bourra l'intervalle entre l'anneau et le tuyau avec la laine de plomb jusqu'à une distance de 50 mm des bords de l'anneau et on garnit cette partie sur chaque côté avec des bandes de plomb de 1 m à 1,20 m de longueur fabriquées dans des moules et qu'on mattait énergiquement une fois mises en place.

On commença la pose de la garniture en laine de plomb le 20 décembre à 6 heures du matin, et on put rétablir le service de la conduite le même jour à 7 heures du soir; de sorte que le service n'a été arrêté que 36 heures. On a fait l'essai sous pression immédiatement et le résultat a prouvé une complète étanchéité.

Dans le tuyau, les ouvriers étaient divisés en deux équipes qui travaillaient deux heures de suite seulement alternativement. C'étaient des ouvriers ordinaires appartenant à l'entreprise chargée des travaux; on les avait choisis pour leurs aptitudes physiques et aussi pour la confiance qu'on pouvait avoir en eux pour des opérations particulièrement délicates.

Cette opération présente un grand intérêt et fait honneur à ceux qui l'ont menée à bien dans un si court espace de temps. Nous renvoyons

pour plus amples détails à l'*Engineering Record*, numéro du 30 mai 1908 duquel nous avons résumé ce qui précède.

La navigation intérieure en Allemagne de 1875 à 1905. — La *Zeitschrift für Binnenschiffahrt*, dans son fascicule de novembre 1907, donne un intéressant historique du développement de la navigation intérieure en Allemagne de 1875 à 1905, de M. Sympher, ingénieur en chef à Berlin. Nous en donnons ci-dessus un résumé, d'après les *Annales des Travaux Publics de Belgique.*

1° *Importance du réseau des voies navigables.* — Le réseau de ces voies ne s'est guère accru depuis 1875. De nouveaux canaux, d'une longueur totale de 300 km environ, ont été établis, mais d'autres, d'une longueur à peu près équivalente, ont beaucoup perdu de leur importance. Le trafic a considérablement augmenté depuis 1875. La longueur totale du réseau est de 13 800 km, mais ce développement se réduit à 10 000 environ, si on fait abstraction, d'une part, de la partie aval des cours d'eau, celle-ci intéressant plutôt le trafic maritime que la navigation intérieure et, d'autre part, de certaines voies navigables sur lesquelles l'importance du trafic est des plus minimes.

2° *Importance de la flotte des bateaux d'interieur.* — Le nombre total des bateaux, qui était de 17 653 en 1877, s'est élevé à 24 839 en 1902 ; il a donc augmenté de 41 0/0, tandis que le tonnage total passait de 1 400 000 t à 5 millions et augmentait de 257 0/0.

Les petites embarcations de moins de 150 t ont fait place à des bateaux d'un tonnage plus important et leur nombre, qui était de 15 000 environ, s'est trouvé réduit à 10 500 ; en revanche, les bateaux de 150 à 200 t, desservant la petite navigation, ont vu leur nombre passer de 1 293 à 5601.

L'amélioration des cours d'eau et canaux, entreprise systématiquement après 1875, a permis de donner aux bateaux des dimensions de plus en plus grandes. Aucune embarcation de plus de 250 t ne naviguait sur l'Oder en 1877 ; en 1902, ce cours d'eau était fréquenté par 809 bateaux d'un tonnage supérieur à 250 t, parmi lesquels 186 de plus de 400 t et 2 de 600 à 800 t. Sur l'Elbe, on comptait, en 1877, 212 bateaux allemands de plus de 250 t, dont 21 de 400 à 500 t; en 1902, le nombre des bateaux était de 2 549, dont 1 434 de plus de 400 t, 525 de plus de 600 t et 20 d'un tonnage de 1 000 à 1 400 t. Le Weser était parcouru, en 1877, par 30 bateaux de plus de 250 t; en 1902, on en comptait 179, parmi lesquels 54 de plus de 400 t et 14 de plus de 600 t. Le Rhin comptait, en 1877, 401 bateaux de plus de 250 t, dont 115 de plus de 400 t, 20 de plus de 600 t et 2 de 700 à 800 t; en 1902, on enregistrait sur ce fleuve 1 877 bateaux de plus de 250 t, parmi lesquels 1 289 de plus de 400 t, 1 042 de plus de 600 t et 529 d'un tonnage dépassant 1 000 tonnes. Le plus grand bateau du Rhin jauge actuellement 2 600 t.

L'augmentation du nombre des vapeurs qui concourent, au point de vue de la vitesse du parcours et de la rapidité de l'exploitation, avec les lignes de chemins de fer, est également digne de remarque. Leur nombre était, en 1877, de 570 et leur puissance totale de 35 000 ch ; actuellement, ces chiffres sont de 2 604 et 350 000 ch.

3° *Importance du trafic sur les voies navigables.* — Le trafic s'est considérablement développé, quoique la longueur du réseau des voies navigables soit, comme on l'a vu plus haut, restée sensiblement la même.

Le trafic total de la navigation intérieure, qui était de 10 400 000 t, moyenne du tonnage des arrivages et des expéditions, en 1875, s'est élevé à 51 700 000 t en 1905 et le nombre de tonnes-kilomètres a passé de 2 900 millions à 15 milliards.

Le mouvement total a donc acquis une importance cinq fois plus grande dans l'intervalle de trente ans considéré.

Ce sont les grands cours d'eau naturels qui ont contribué dans une forte proportion à cette majoration du trafic; le mouvement a augmenté sur ceux-ci de 1 765 millions à 12 milliards de tonnes-kilomètres. Mais, ici encore, la majeure partie de l'augmentation a été réalisée sur les quatre cours d'eau principaux : l'Oder, l'Elbe, le Weser et le Rhin, qui ont permis de mettre en service des bateaux de fort tonnage et qui sont dotés d'installations répondant aux besoins modernes de l'exploitation.

Le tonnage kilométrique moyen, qui était de 290 000 t en 1875, pour l'ensemble des voies navigables, a été porté à 1 500 000 t en 1905; sur les grands cours d'eau, il s'est accru de 500 000 à 4 millions de tonnes.

Le tableau ci-dessous montre quelle a éte l'augmentation sur les quatre cours d'eau principaux :

	Trafic total en millions de tonnes-km.		Trafic kilométrique moyen en tonnes.	
	1875	1905	1875	1905
	—	—	—	—
Le Rhin . . .	822	6 493	1 560 000	11 400 000
L'Elbe. . . .	435	3 581	720 000	5 800 000
L'Oder. . . .	154	1 433	240 000	2 200 000
Le Weser . .	29	176	80 000	480 000

C'est toujours la région du Bas-Rhin qui continue à donner le mouvement kilométrique maximum; il était de 2 500 000 t en 1875 et a atteint 24 millions de tonnes en 1905.

Toutes proportions gardées, le trafic s'est développé dans les mêmes conditions sur les canaux et rivières canalisées à grande section. Ainsi, le mouvement kilométrique est monté, de 1875 à 1905 :

a) Sur le Plauer Canal, de 272 000 à 1 598 000 t;

b) Sur le canal Friedrich-Wilhelm (de la Sprée à l'Oder), de 145 000 à 2 435 000 t;

c) Sur le Main, à Francfort, de 382 000 à 2 210 000 t.

De 1875 à 1885, le trafic avait été en diminuant sur le Main, mais dès 1887, aussitôt après la canalisation de ce cours d'eau, le mouvement y a pris un essor considérable. Un développement analogue a été enregistré sur le Friedrich-Wilhelm, après l'amélioration de la section qui s'étend de la Sprée à l'Oder.

Le trafic se développe également sur le canal de Dortmund à l'Ems; il accusait, en 1905, sur le parcours le plus fréquenté. à l'aval de Munster, un mouvement de 943 000 t.

Sur le canal de Finow, le mouvement, tout en ayant progressé, de 1875 à 1905, de 842 000 à 2 918 000 t, n'a cependant pas augmenté dans les mêmes proportions que sur les autres voies navigables; la cause doit en être attribuée aux dimensions transversales réduites du canal.

En ce qui concerne les petites voies navigables, tant naturelles qu'artificielles, on constate que le mouvement reste stationnaire et que même il rétrograde.

Le trafic s'est aussi considérablement accru, depuis 1875, en ce qui concerne certains centres.

A cette date, deux localités seulement enregistraient un mouvement de plus de 1 million de tonnes, savoir : Berlin, avec 3 200 000 t et Ruhrort-Duisbourg-Hochfeld, avec 2 900 000 t.; en 1905, le nombre des ports dont le trafic dépassait 1 million de tonnes était de 13, parmi lesquels 4 (Duisbourg, Berlin, Hambourg et Mannhein) d'un tonnage supérieur à 5 millions de tonnes. Duisbourg, avec ses dépendances, et Berlin enregistraient respectivement un mouvement de 20 millions et 10 millions de tonnes.

M. Sympher établit encore une comparaison entre le mouvement des marchandises transportées par chemin de fer et celui des produits transportés par eau, afin de faire ressortir l'importance du réseau des voies navigables.

Pour les 26 500 km de voies ferrées existant en 1875, le mouvement total a été de 10 millards de tonnes-kilomètres, alors qu'il atteignait 2 900 millions de tonnes-kilomètres sur les 10 000 km de voies navigables exploitées à cette époque; il se montait donc à 21 0/0 de l'ensemble du mouvement pour les transports par eau et à 79 0/0 pour les transports sur rails. A la dite date, le mouvement kilométrique était ainsi de 290 000 t sur les voies navigables et de 410 000 t sur les chemins de fer.

En 1905, on enregistrait sur le réseau des voies ferrées, qui avait augmenté de 105 0/0 et comptait 64 000 km, un mouvement de 44 milliards 600 millions de tonnes-kilomètres et sur le réseau des voies navigables, resté stationnaire, un mouvement de 15 milliards de tonnes-kilomètres, soit 25 0/0 du trafic total pour les dernières et 75 0/0 pour les transports sur rails. Le mouvement kilométrique atteignait à la même époque 1 500 000 t pour les transports par eau et 820 000 t pour ceux par terre.

Le mouvement dépasse donc considérablement sur les voies navigables celui qu'accusent les chemins de fer; il a, en effet, progressé dans la proportion de 1 à 5, alors que ce dernier ne s'est accru que dans celle de 1 à 2.

L'importance acquise par les voies navigables allemandes ressort encore du fait que le mouvement des transports par eau est supérieur actuellement à celui des transports qui s'effectuaient par chemins de fer en 1881.

En valeur absolue, toutefois, la progression du trafic est beaucoup plus rapide sur les chemins de fer, dont le réseau a cinq fois et demie plus de développement que celui des voies navigables, que sur ces dernières. Celles-ci accusaient, en effet, une augmentation de 12,1 milliards de tonnes-kilomètres, alors que les chemins de fer enregistrent une

augmentation de trafic qui n'a été dépassée dans aucun pays et qui se monte à 33,7 milliards de tonnes-kilomètres.

Sous le rapport de l'importance des voies de navigation intérieure, l'Allemagne n'est dépassée que par la Russie, les États-Unis d'Amérique et la Chine, dont les territoires sont beaucoup plus vastes que celui de l'Empire allemand ; mais une comparaison peut être faite avec la France, le pays classique de longue date au point de vue du développement de la navigation intérieure. En France, on comptait 18 800 km de voies navigables en 1875 et le mouvement y était de 2 milliards de tonnes-kilomètres, correspondant à une moyenne de 182 000 t-km par kilomètre, alors que pour l'Allemagne ces chiffres étaient respectivement de 10 000 km et 2 900 millions de tonnes-kilomètres, donnant une moyenne kilométrique de 290 000 t-km et cette augmentation a progressé depuis d'une façon continue. Actuellement, le mouvement sur les voies navigables allemandes est triple de celui qui est enregistré sur celles de la France ; en effet, alors que pour un réseau de 10000 km resté constant, le mouvement a atteint, en Allemagne, 15 milliards de tonnes-kilomètres et une moyenne de 1 500 000 t-km par kilomètre, sur les voies navigables françaises, d'un développement de 12 100 km, le mouvement n'a atteint que 4 970 millions de tonnes-kilomètres ou 411 000 t-km par kilomètre.

Mais ces constatations, dit l'auteur, n'infirment en rien la valeur des voies navigables françaises.

En Allemagne, ce sont des transports importants de charbons et de minerais qui ont alimenté outre mesure, dans ces derniers temps, non seulement les voies navigables, mais encore les lignes de chemins de fer. Des graphiques qui sont donnés par la *Zeitschrift für Binnenschiffahrt* font ressortir les variations par lesquelles est passée dans les deux pays l'importance des transports par eau et des transports par voies ferrées.

M. Sympher conclut, à la fin de son étude, que la marche ascendante suivie par l'importance des transports par eau, loin d'avoir nui au développement des lignes de chemins de fer, a plutôt favorisé celles-ci et que les capitaux placés dans la construction et dans la transformation des voies navigables ont eu un bon rendement ; il importe, en conséquence, de poursuivre l'œuvre de l'amélioration des cours d'eau et canaux.

Les industries de l'âge de la pierre *(suite et fin)*. — A l'époque paléolithique, qui correspond à la période des cavernes et à l'âge du Mammouth, nos ancêtres utilisaient beaucoup de lames comme couteaux ; ils agissaient de même pour les grattoirs ainsi que pour tous les instruments ; certains de ces outils présentent, du côté opposé au taillant, certaines parties pointues comme s'ils étaient emmanchés.

Dans le paléolithique inférieur, on trouve les instruments les plus beaux et les mieux façonnés ; il était alors de mode de les disposer en amande.

Dans le Strépyien, base de cet étage, apparait la taille intentionnelle avec la retouche d'accommodation pour la préhension. Les Chélleens et les Acheuléens l'ont perfectionnée.

Avant le Strépyien nous sommes dans la période éolithique où l'on faisait usage d'instruments non taillés.

L'auteur montre des instruments recueillis en Belgique, dans divers terrains et, enfin, un caillou à encoche, avec retouche provenant du Pliocène moyen du Comté de Kent. C'est dans le Miocène supérieur que les premiers instruments de pierre se rencontrent.

Les perçoirs sont les instruments dont la destination est la plus évidente, avec leur pointe plus ou moins aiguë ; cette pointe n'a, parfois, été réalisée qu'au moyen d'une taille intentionnelle. Le conférencier montre des morceaux de chêne qu'il a forés en partie avec des perçoirs qu'il avait façonnés. Ces instruments doivent être maniés prudemment, en appuyant doucement, sinon ils sont rapidement mis hors d'usage. Il est probable qu'ils étaient utilisés par nos ancêtres pour percer des peaux. Les Flénusiens possédaient des quantités de perçoirs grands et petits. A l'époque néolithique, alors que la forme était la même qu'aujourd'hui, on retrouve beaucoup de grattoirs entiers et brisés. A l'époque des cavernes, les perçoirs étaient petits. Quelquefois une pierre appointée était utilisée. Dans le paléolithique inférieur, qui correspond à la belle époque de l'âge de la pierre, on retrouve des perçoirs à pointe naturelle et à pointe taillée ; l'un d'eux, de la collection du Musée, est poli par l'usage.

Dans le Strépyien, où apparait la taille intentionnelle, le perçoir a donné incontestablement l'idée du poignard. On en a trouvé plusieurs exemplaires à la base du quaternaire moyen, ce qui correspond au Strépyien. Des perçoirs ont été trouvés dans le tertiaire supérieur, dans le Pliocène et le Miocène.

M. Rutot formule les conclusions suivantes :

Tout instrument présente à chaque époque la taille de mode d'alors. Cependant, à côté de ceux-ci, il s'en trouve quelques autres de formes plus rudimentaires, d'un genre plus ancien ; c'est pourquoi, seuls, les terrains dans lesquels ces instruments ont été découverts permettent de déterminer avec certitude, l'âge de ces outils. Le préhistorique comprend trois âges : l'Éolithique, le Paléolithique et le Néolithique. Ces âges présentent plusieurs subdivisions : le tableau ci-dessous indique à quelle époque géologique correspond telle période de l'âge de la pierre.

Miocène supérieur . . .	Cantalien. . .	
Pliocène moyen	Kentien . . .	Industrie primitive.
Pliocène supérieur . . .	Saint-Prestien.	
	Rentalien. . .	
Quaternaire inférieur. .	Mafflien . . .	dite Éolithique.
	Meuvivien . .	
	Strépyien. . .	
Quaternaire moyen . . .	Chelléen . . .	
	Acheuléen . .	
	Moustérien . .	Industrie paléolithique.
Quaternaire supérieur. .	Aurignacien. .	
	Solutréen. . .	
	Magdalénien .	

Terrains modernes . . .	Tard . . . . . Flénusien. . . Compignyien . Robenhausien. Omalien . . .	Industrie néolithique.

Les Éolithiques n'utilisent que les outils suivants : percuteurs, couteaux, racloirs, grattoirs et perçoirs. Aucun d'eux n'est taillé intentionnellement.

A partir du Strépyien jusqu'à la fin du Néolithique, on développe la taille intentionnelle; pendant le Robenhausien, certains instruments sont polis.

Le Paléolithique inférieur correspond à l'âge du Mammouth.

L'époque des cavernes correspond au quaternaire supérieur. Au Néolithique la forme était la même qu'aujourd'hui.

A toutes ces époques on retrouve les instruments destinés à réaliser les cinq opérations consistant à marteler, couper, racler, gratter et percer; ces outils s'adaptent parfaitement à nos mains; aucun instrument en métal n'existait à ces périodes. Le métal a fait son apparition à la fin du Néolithique; il n'a pas tardé à remplacer les outils en pierre.

C'est dans le Paléolithique que s'est réalisé le grand progrès de la taille de la pierre. Les perçoirs sont allongés, de façon à former de véritables armes offensives ressemblant à des poignards et même à des glaives. Nos ancêtres modifient ensuite ces armes pour les emmancher au bout de bâtons; pendant le Chelleen, ils fabriquent des pointes et façonnent des lances; puis ils cherchent à attaquer à distance, au moyen d'armes de jet; ils inventent alors la pointe de javelot. Aucun indice ne nous permet de supposer qu'ils connaissaient l'arc; la poterie leur était inconnue.

Nos ancêtres se sont appliqués à perfectionner leurs moyens d'attaque. Comme preuve à l'appui, M. Rutot montre une arme terrible, espèce de massue, amincie à un bout, fortement renflée à l'autre. L'habitat de nos ancêtres exigeait des conditions particulières, telles que présence de l'eau et existence d'un gisement de silex dans le voisinage. Vers le milieu du quaternaire moyen, la partie nord de la Belgique était inondée, ainsi que la vallée de la Meuse; les eaux se sont retirées peu à peu et du limon s'est déposé sur les gisements de silex, alors connus; la population très clairsemée s'est trouvée dans l'obligation de rechercher de nouveaux gisements de silex et a délogé les premiers occupants. A cette période troublée correspondent des perfectionnements dans la fabrication d'outils en pierre. Les perçoirs se développent, ils se transforment soit en poignards, soit en pointes de lance, soit en pointes de javelot.

Nos ancêtres cultivaient aussi les beaux-arts, pendant les périodes de paix; la preuve en est dans une petite statuette en ivoire, d'une Vénus très callipyge, trouvée dans l'exploration d'une caverne, à Pont-à-Lesse.

Comparaison entre l'alcool et la gazoline pour les moteurs à explosion. — La division technique du Geological Survey, des États-Unis, a, sous la direction de M. J. A. Holmes, exé-

cuté récemment une série d'essais sur la valeur relative de l'alcool et de la gazoline pour la production de la force motrice. Ces essais, au nombre de plus de 2000, constituent l'ensemble le plus complet de documents sur la question qui existe à l'heure actuelle. Le professeur R. H. Fernald, chargé du cours de mécanique appliquée, à la Case School of Applied Science, à Cleveland, et M. Strong, précédemment attaché au Département du Génie Civil à l'Université de Columbia, avec un corps d'assistants très au courant du sujet, étaient chargés des expériences qui ont été faites au laboratoire d'essai des combustibles, du Geological Survey, à Norfolk, Va. On a employé de l'alcool commercial dénaturé et de la gazoline à 73 degrés de poids spécifique.

Les moteurs à alcool et les moteurs à gazoline, bien étudiés et bien construits, lorsqu'ils fonctionnent dans les conditions les plus favorables, consomment des quantités égales en volume du liquide combustible. Ce fait est prouvé par un grand nombre d'essais ; dans les conditions que nous venons d'indiquer, on peut admettre que la consommation minima est d'environ huit dixièmes de pinte, soit 0,378 l de gazoline et d'alcool par cheval au frein et par heure. Si on considère que le pouvoir calorifique d'un litre d'alcool dénaturé est d'un peu plus des six dixièmes de celui d'un litre de gazoline, ce résultat d'une consommation égale des deux liquides pour la même puissance représente probablement la meilleure appréciation de la valeur comme force motrice de l'alcool à l'heure actuelle. Mais, si ce fait a été mis hors de doute par les expériences officielles faites au laboratoire d'essai du Gouvernement américain, c'est aux fabricants de moteurs à réaliser ces résultats en pratique.

Les moteurs à gazoline, employés dans les expériences en question, sont des machines des modèles courants employés comme machines fixes en Amérique, développant de 10 à 15 ch, à la vitesse de 250 à 300 tours par minute ; les moteurs à alcool sont de la même construction et de dimensions identiques.

L'air n'était pas chauffé préalablement et les machines étaient munies de carburateurs du type ordinaire, à niveau constant et à pression constante. On a d'ailleurs fait de nombreux essais avec de l'air chauffé à diverses températures allant jusqu'à 120 degrés centigrades et avec des carburateurs spéciaux, mais on n'a pas reconnu d'avantages appréciables dans les conditions de charge et de vitesse des expériences.

L'alcool dénaturé du commerce, dont on s'est servi, était composé de 100 parties d'alcool éthylique additionné de 10 parties d'alcool méthylique et de 1/2 de benzol ; ce liquide correspond en volume à 94 0/0 et en poids à 91 0/0 d'alcool éthylique (alcool de grain). L'emploi de ce combustible n'a eu aucun effet fâcheux sur les parois des cylindres et les soupapes des moteurs.

Les consommations minima ont été réalisées avec les plus fortes compressions qu'on ait trouvé pratique d'employer ; ces compressions se sont élevées, pour l'alcool dénaturé, à des valeurs de 10,500 kg à 12,700 kg par centimètre carré.

Les alcools du commerce contenant 80 0/0 d'alcool et 10 d'eau devraient être vendus 15 0/0 de moins, à volume égal, que l'alcool déna-

turé, pour pouvoir lutter avec lui. La consommation minima, par cheval ou frein et par heure, d'alcool à 80 0/0 est d'environ 17,5 0/0 supérieure à celle de l'alcool dénaturé ou de la gazoline. Une série d'essais faits avec des alcools de différentes richesses a fait voir que la consommation par unité de puissance croît un peu plus vite que ne décroît la richesse alcoolique, en d'autres termes, autrement dit que l'efficacité thermique décroît en même temps que la richesse en alcool. Mais cette décroissance est faible entre les proportions d'alcool de 100 0/0 et de 80 0/0. Entre ces limites, il est inutile de tenir compte de cette décroissance.

Plus l'alcool est pur, plus est grande la puissance maxima que peut développer le moteur. Avec l'alcool à 80 0/0, la puissance maxima n'est inférieure que de 1 0/0 environ à celle qu'on peut obtenir avec l'alcool dénaturé, mais on a plus de peine à mettre le moteur en marche et à en régler la vitesse.

Avec une compression convenable, les mélanges de gazoline et d'alcool donnent une efficacité thermique comprise entre celle de la gazoline (maximum 22 0/0) et celle de l'alcool (maximum 34,6 0/0) mais cette efficacité ne dépasse jamais celle de l'alcool. On les calcule en prenant pour éléments la puissance au frein et la puissance calorifique minima du combustible, qui est de 10600 calories par kilogramme pour la gazoline et de 5 825 calories pour l'alcool dénaturé,

Comme il a été indiqué plus haut, l'alcool peut être employé dans les machines à gazoline des types fixes et marins et la consommation d'alcool dans ces moteurs sera de 1,5 à 2, de la consommation de gazoline, lorsque les machines travailleront dans les mêmes conditions. Les modifications à apporter à ces moteurs pour les faire fonctionner à l'alcool, d'une manière plus économique, sont assez limitées, car on ne peut guère augmenter la compression sans changer les fonds de cylindres et les soupapes et, de plus, les moteurs à gazoline ne sont pas faits pour supporter les pressions élevées d'explosion qu'on a avec l'alcool, pressions qui vont jusqu'à 40 et 50 kg par centimètre carré. Avec les cylindres construits pour faire fonctionner à l'alcool des moteurs à gazoline, on obtiendra un accroissement de puissance de 35 0/0, de sorte que, finalement, le poids par cheval, non seulement ne sera pas supérieur pour un moteur à alcool, mais même pourra être un peu inférieur.

Le travail dont nous nous occupons a étudié de la manière la plus complète l'action de chacun des deux liquides combustibles employés dans les moteurs à combustion intérieure, dans les diverses conditions qu'on rencontre dans la pratique ; conditions relatives à la construction et au fonctionnement des moteurs. Cette étude détaillée a conduit à dégager les conditions qui conduisent à réaliser la plus grande économie avec chaque combustible. Ces résultats ont une très grande importance commerciale et ces études relatives à l'effet comparatif de l'alcool et de la gazoline peuvent rendre, en outre, des services sérieux, relativement à l'emploi d'autres liquides dans les moteurs à combustion interne.

On sait qu'il avait déjà été fait, aux États-Unis, un grand nombre d'essais sur ce genre de moteurs, mais la plupart étaient dus à l'initiative privée et étaient exécutés dans des buts spéciaux, les résultats n'en étaient pas toujours comparables. Aussi les résultats des recherches

entreprises par le Geological Survey ont-ils une grande valeur et sont-ils de nature à combler une lacune dans la question si importante des moteurs à combustion intérieure.

Les traverses de chemins de fer aux États-Unis. — Soit pour la construction de nouvelles lignes, soit pour l'entretien de celles existantes, il a été consommé, en 1906 aux États-Unis, plus de *cent millions* de traverses. Le prix moyen est de 2,50 f par traverse, ce qui représente la jolie somme de 250 millions de francs.

C'est le chêne qui est le plus employé ; il représente 44 0/0, tandis que le pin méridional, qui vient après, ne compte que pour 17 0/0. Le pin Douglas et le cèdre entrent pour 6,5 0/0 chacun. Les 26 0/0 qui restent sont fournis par le noyer, le cyprès, le pin de l'ouest, le tamarack, le sapin, etc. Les deux premiers de ces bois sont les plus chers, quoique les plus employés ; la traverse coûte en moyenne 2,55 f ; le noyer vient après, puis le cèdre ; le meilleur marché est le sapin, dont la traverse ne coûte que 1,40 f.

Plus des trois quarts des traverses sont débitées à la hache. En général, quand le bois a peu de valeur relativement, la proportion débitée à la scie augmente, parce que la demande pour les traverses est toujours active, tandis qu'elle s'abaisse fréquemment pour le reste du bois. Ces conditions se font sentir surtout sur les essences de l'Ouest, qui fournissent en abondance, mais du bois de faible valeur.

10 0/0 des traverses achetées par les chemins de fer sont soumises à des traitements préservatifs, soit avant l'achat, soit après dans les chantiers d'injection des Compagnies. Il y a au moins dix de celles-ci qui possèdent des installations pour traiter leurs traverses.

On a calculé que la quantité de bois employé chaque année sous forme de traverses représente la production de 240 000 ha de forêts, et que, pour le maintien permanent d'une traverse, il faut qu'il pousse deux arbres.

En supposant un développement de 483 000 km de voies et une moyenne de 1 740 traverses par kilomètre (2 800 par mille), on arrive à un total de 840 millions de traverses qui sont sujettes à l'usure et à la pourriture et qu'il faut renouveler partiellement. Les rapports des chemins de fer indiquent des durées moyennes de onze ans pour le bois de cèdre, de dix ans pour le cyprès, de neuf ans pour le redwood. Mais ces essences, qui sont les plus durables, n'ont pas les autres qualités nécessaires, telles que le poids et la résistance, et ne peuvent être obtenues facilement sur les lignes du Centre et de l'Ouest. D'autre part, les bois généralement employés, le noyer, le chêne blanc, le tamarack, le sapin et le pin de Douglas, n'ont qu'une durée moyenne de sept ans, et le chêne noir, de quatre ans seulement, tandis que les traverses imprégnées durent facilement quinze ans ; on jugera de l'intérêt qu'ont les Compagnies de chemins de fer à généraliser l'emploi des procédés de préservation.

L'effet s'en ferait rapidement sentir sur l'épuisement des forêts. On trouve des détails complets sur la conservation des traverses dans un rapport publié par le Service forestier des États-Unis en coopération avec le Bureau du recensement.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Juin 1908.

Rapport de M. Bertin sur les **Chaudières à lames d'eau** de M. Charles Bourdon.

Cette chaudière est formée de lames d'eau verticales, constituées par deux tôles ondulées à génératrices horizontales réunies par des entretoises dans les parties étranglées. Un léger courant de circulation générale est obtenu à l'aide de tubes plongeant dans les lames à leur partie arrière. Les chaudières peuvent être disposées de diverses manières. M. Bourdon a étudié trois modèles dont l'épaisseur des lames aux renflements est de 120, 90, ou 60 mm.

Une expérience faite sur le premier de ces modèles a donné, avec 80 kg de combustion par mètre carré de grille, 8 à 9,20 kg de vapeur sèche par kilogramme de combustible. La vaporisation avait lieu à raison de 16 à 18 kg par mètre carré et par heure.

Rapport de M. Bertin sur une **Chaudière à tubes d'eau système** Meurisse, présentée par M. Mougin.

Cette chaudière est un générateur à tubes cintrés reliant deux caisses à eau dont la supérieure est rattachée à un réservoir cylindrique à axe horizontal contenant des tubes à fumée verticaux ; ces derniers forment un surchauffeur.

Un essai fait avec une chaudière de ce système a donné des vaporisations de 8,6 à 8,8 kg par kilogramme de combustible, avec un rapport de la surface de grille à la surface de chauffe de 34,3 seulement.

Rapport de M. Ach. Livache sur les **Recherches sur les cuirs et les peaux**, de M. le capitaine Nicolardot.

Ces recherches sont relatives à la question de l'échantillonnage, c'est-à-dire à la manière dont les échantillons pour les analyses et les essais doivent être prélevés. L'auteur a dû se préoccuper d'obtenir des résultats dignes de confiance et, en même temps, de ne pas détériorer la peau, ce qui causerait un préjudice au vendeur.

Il est arrivé à constater que la résistance de la peau est plus grande dans la région de l'estomac que dans le collet ou la culée. De plus, la résistance des éprouvettes prélevées parallèlement à la raie du dos est, en général, plus grande que celle des éprouvettes découpées dans le sens perpendiculaire, à l'inverse de ce qui a lieu dans le collet. On peut

supposer que rien ne s'opposera à ce mode d'échantillonnage favorable à l'acheteur et au vendeur.

Pour le dosage de l'eau, la méthode actuellement en usage dans le service de l'artillerie consiste à peser l'échantillon avant et après dessication, dans le vide sulfurique, pendant quarante-huit heures.

M. Nicolardot propose de dégraisser l'échantillon par du chloroforme; l'eau restant dans la peau dégraissée peut être rapidement et sans difficulté chassée à 110 degrés; en tenant compte de la matière grasse extraite par le chloroforme, on aura, par différence, la teneur en eau.

Recherches sur les cuirs et peaux, par le capitaine NICOLARDOT, chef de laboratoire de la section technique de l'artillerie, docteur ès sciences.

La lutte contre le grisou et l'oxyde de carbone dans les mines de houille, par M. GRÉHANT, professeur au Muséum.

Dans cette conférence, faite le 8 mars 1908, au Muséum, M. Gréhant a présenté les divers caractères des deux gaz que nous venons de nommer, étudié la manière dont ils agissent sur les êtres animés, et indiqué les procédés pour faire connaître la présence dans une atmosphère de ces dangereux composés.

Étude sur la **fabrication des vernis au copal**, par M. Ach. LIVACHE.

Le brillant d'un vernis et sa résistance aux agents atmosphériques sont d'autant plus grands que le copal employé présente plus de dureté. Or, les copals durs sont très difficilement solubles dans les dissolvants généralement employés; il faut alors les chauffer pour les rendre solubles, et cette opération leur fait perdre 20 à 25 0/0 de leur poids, ce qui est très onéreux. L'objet de la note est de faire connaître les procédés de fabrication les plus récents et, en particulier, un nouveau procédé dû à l'auteur et qui a fait l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences (avril 1908).

Conductibilité calorifique des matériaux réfractaires, par M. S. WOLOGDINE.

L'auteur a opéré sur des plaques réfractaires de 50 mm d'épaisseur. On mesurait simultanément la quantité de chaleur cédée à l'intérieur au moyen d'un calorimètre à circulation d'eau appliqué sur la surface supérieure de la plaque, tandis qu'on mesurait la température à l'intérieur du four sous la surface réfractaire et la température en deux points intérieurs de la plaque, l'un à 5 mm de la face supérieure, l'autre à 9 mm de la face inférieure. On avait ainsi la relation entre le flux de chaleur et la loi de variation de la température à l'intérieur de la plaque, ce qui permettait de calculer le coefficient de conductibilité.

On peut conclure de ces expériences que toutes les pâtes argileuses moyennement cuites, réfractaires ou non, ont le même coefficient de conductibilité 0,003. Les briques réfractaires très cuites ont une conductibilité de 0,045.

La crise de l'apprentissage, par M. de Ribes-Christofle.

L'impérialisme économique en Grande-Bretagne, par M. Maurice Alfassa *(suite).*

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Les principaux sujets traités ici sont les suivants : La fonction valence. — Le tétrachlorure de carbone. — Acide sulfurique. — Nitrite de sodium. — Production des poids et des métaux. — La vie du radium. — Le scandium. — La purification du gaz d'éclairage. — Indigotine. — Jaune de métanil en acidimétrie. — Tannage aux hydroquinones. — Les picrates métalliques. — Azoture d'argent. — Laits, beurres et fromages purs. — Pain blanc et pain bis. — Désinfection par le formol, etc.

Notes de mécanique.

Nous trouvons ici : une note sur le rendement technique des moteurs à gaz, d'après M. R. Hopkinson, une étude sur les turbines à vapeur Rateau et Parsons-Tosi, et une sur l'influence de la vitesse du piston sur l'économie des machines à vapeur.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

3e fascicule de 1908.

La vie et les travaux de Léon Durand-Claye, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. Delocre, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

La nouvelle entrée et les travaux de transformation du port de Saint-Nazaire, par M. Mallat, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le port de Saint-Nazaire avait pour entrée une écluse à deux pertuis, un grand et un petit, donnant sur la Loire. En l'absence d'un sas, le passage des navires ne pouvait se faire qu'au moment de la pleine mer ; le tirant d'eau disponible, était, en outre, absolument insuffisant en morte eau. L'approfondissement de la Loire devant Saint-Nazaire faisait encore plus sentir la nécessité d'une nouvelle entrée.

Celle-ci est constituée par une grande écluse à sas précédée d'un avant-port formé par deux jetées convergentes laissant une passe de 120 m.

L'écluse a 30 m de largeur libre et au moyen des portes d'èbe peut former trois sas de 211, 110 et 77 m de longueur ; elle a 9,70 m d'eau sur le busc aval aux plus faibles pleines mers de morte eau.

Les dépenses qu'ont entrainées ces travaux s'élèvent à 16 millions en nombre rond et se sont réparties entre l'État le Département de la Loire-

Inférieure, la Ville de Saint-Nazaire et la Chambre de Commerce de cette ville. Pour assurer le service des emprunts contractés par cette dernière il a été établi des péages sur les navires.

Les travaux dont nous venons de parler vont être complétés à bref délai par une nouvelle série de travaux ayant pour objet de mettre les accès du port et les anciens ouvrages de ce port en complète harmonie avec les dispositions réalisées dans la création de la nouvelle entrée.

Le pont neuf levant à manœuvre électrique au port de Cette, par M. Herrmann, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur général de la Compagnie des ports de Tunis, Sfax et Sousse.

Le pont neuf, situé sur un canal entre la ville et le port de Cette, et remontant à 1785, était un pont fixe en pierre, ses rampes d'accès très raides étaient un obstacle à la circulation et on a décidé de le remplacer par un pont tournant ou levant. Diverses considérations, entre autres la question économique, ont fait adopter la solution du pont levant.

Le pont se compose d'une travée métallique de 15,20 m de portée, comportant deux poutres pleines de 1,75 m de hauteur distantes de 8,70 m d'axe en axe; le tablier porte une voie charretière de 4,70 m de largeur et deux trottoirs de 1,40 m. Le soulèvement s'opère au moyen de quatre vis à filet carré placées aux quatre angles du tablier et tournant à raison de 40,5 tours par minute, ce qui correspond au soulèvement ou à l'abaissement du tablier en 100 secondes ; ces vis sont actionnées par des transmissions dentées par une dynamo de 12,5 kw tournant à 920 tours par minute. La dépense du pont neuf s'est élevée à 91 500 f dont moitié pour la maçonnerie et moitié pour la partie métallique.

Un autre pont, celui de Marsoulet, a été reconstruit de la même manière et a donné lieu à une dépense à peu près égale.

Réfection de la rigole de Chazilly du canal de Bourgogne, par M. Hegly, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette rigole conduisant les eaux du réservoir ou bief de partage, perdait l'eau d'une manière très notable, environ 20 0/0.

On l'a réparée par la construction de chapes en béton ordinaire dans les parties rocheuses et en béton armé dans les parties en remblai. Ce qu'il y a de particulièrement intéressant dans ce travail est l'emploi considérable qui y a été fait du métal déployé.

Étude des joints des rails. — Mission à l'étranger. Rapport par M. Pellarin, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce rapport contient des études faites en Belgique, Suisse, Italie et Hollande. Il constate que, somme toute, les joints rencontrés présentent partout :

1° Un rapprochement des traverses de joint ;

2° Un rapprochement des traverses de contre-joint;

3° Une éclisse longue et à grand moment d'inertie que l'on a cherche

autant que possible à fixer énergiquement contre le rail ou les traverses de joint.

Ce sont ces trois points que l'on doit toujours satisfaire pour obtenir un joint robuste permettant l'emploi de fortes charges par essieu sans fatigue excessive des abouts des rails et sans chocs nuisibles pour le matériel.

Étude du service télégraphique dans les chemins de fer. — Mission à l'étranger. Rapport par M. Pellarin, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette mission a porté sur les pays suivants : Belgique, Italie, Suisse et Hollande.

Fondations sur massif de béton immergé dans des caissons sans fond reposant sur un lit d'enrochements, dans un courant rapide, par M. Armand, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Cette méthode a été appliquée aux fondations d'un mur de quai à Port-Saint-Esprit, sur le Rhône.

On a établi une plate forme en blocs du poids minimum de 900 kg et on l'a arasée à 2 m sous l'étiage ; la vitesse du courant étant supérieure à 2 m par seconde, on ne pouvait mettre en place les caissons par flottaison ; on les amenait sur pontons à côté de leur emplacement définitif et on les poussait à l'eau en les faisant tourner de 180 degrés ; cette manœuvre n'a présenté aucune difficulté. On coulait ensuite le béton en enlevant d'abord le lest d'enrochement et le plancher supérieur le supportant. Une fois le caisson rempli, on construisait le mur à sec sur ce massif de fondation.

Le mètre cube de fondation est revenu par cette méthode à 24,33 f.

Épuration des eaux usées, par M. Michel, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La note passe en revue les divers procédés employés pour l'épuration des eaux usées, fosses septiques, épandage, etc. Elle conclut que, dans l'état actuel de la science et des procédés aujourd'hui préconisés pour l'épuration des eaux usées, aucun d'eux n'a encore pris une avance telle qu'on puisse le proposer *a priori* pour l'épuration d'un sewage quelconque. Le problème est encore, dans chaque cas, une question d'espèce.

Les distributions d'eau au Japon en 1907, par M. E. Imbeaux, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (d'après une relation de voyage de M. l'Ingénieur Johnson, de New-York).

Le Japon a actuellement 13 villes munies d'une distribution d'eau : 10 d'entre elles filtrent l'eau. La plus importante est celle de Tokyo qui compte 1 870 000 habitants auxquels on fournit en moyenne 64 l par tête et par jour. Les dépenses d'établissement s'élèvent à 21 500 000 f.

ANNALES DES MINES

3e livraison de 1908.

Note sur l'**École Royale des Mines de Londres,** par M. BREGNAERT, Ingénieur des Mines.

L'École royale des Mines de Londres est rattachée au Royal College of Science dont elle forme une branche. L'enseignement est organisé à ce Collège de manière à donner aux étudiants une culture scientifique générale et une instruction, très complète dans une ou plusieurs branches spéciales. Les études se terminent par l'obtention d'un diplôme.

La note donne un programme des cours suivis par les élèves.

Sur les verres de lampes de mines dits « verres d'Iéna » rapport par M. G. CHESNEAU, Ingénieur en chef des mines.

Ce rapport présenté à la Commission des recherches scientifiques sur le grisou et les explosifs employés dans les mines donne les résultats d'essais faits avec les verres de la fabrique Schott et Cie, d'Iéna.

La conclusion est qu'en raison de leur résistance à la trempe et au chauffage, bien supérieure à celle des verres actuellement en usage dans nos houillères, il y a intérêt à porter les résultats de ces essais à la connaissance des exploitants de mines.

Étude comparée des fonds marins anciens et actuels, par M. J. THOULET, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

Cette étude a pour objet de constater et de chercher à expliquer les ressemblances et différences minéralogiques existant entre les fonds marins actuels, les roches calcaires qui sont d'anciens fonds marins devenus aujourd'hui des roches géologiques et enfin les sols subaériens superficiels résultant de la désagrégation atmosphérique du calcaire, qui sont destinés à être tôt ou tard enlevés par les eaux météoriques transportées par les rivières et les fleuves à l'Océan, de manière à y constituer des dépôts actuels qui peut-être émergeront de nouveau et deviendront roches continentales en fermant ainsi le cycle de transformation des roches.

L'auteur expose que l'analyse complète d'un échantillon de fond actuel et ancien permet, par la considération attentive de la nature, des caractères et de proportions des divers minéraux inclus, de conclure par induction à une foule de particularités sur les conditions dans lesquelles le fond s'est déposé. On est ainsi amené à des découvertes aussi précises qu'inattendues relatives à des océans géologiques disparus depuis des siècles de siècles.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1903 par les Ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

MAI 1908.

DISTRICT DE PARIS.

Réunion du 21 mai 1908.

Communication de M. FIEUX sur **le mode de formation de l'or** dans les divers gisements.

L'auteur estime que l'or existe à l'état libre dans le noyau central. Les roches lourdes amphiboliques en entrainent des traces en suspension, comme émulsionnées dans leur masse, au moment de leur séparation du magma intérieur. Deux genres de phénomènes ultérieurs produisent une concentration naturelle donnant naissance à deux classes de gisements exploitables. Les unes, mécaniques, érosives, et lévigation de la roche altérée produisent les alluvions. Les autres, hydrothermales (attaque chimique de la roche chaude en profondeur par les eaux d'infiltration) produisent les filons.

Quand ces deux actions s'ajoutent l'une à l'autre, cas de la lévigation des crêtes de filons, il en résulte une double concentration d'où les placers ultra-riches, dont la découverte et l'exploitation fructueuse par des procédés grossiers, caractérise les débuts de l'industrie aurifère dans chaque pays.

Quant à l'origine purement filonienne, c'est là une hypothèse à rejeter, le filon étant une conséquence et non une cause.

Communication de M. CHALON sur **les marteaux pneumatiques** et le concours des perforatrices du Transvaal.

L'auteur donne d'intéressants détails sur un concours de perforatrices qui a eu lieu en décembre 1907 dans les mines de la Robinson, au Transvaal.

Les épreuves consistaient à opérer : 1° à la surface sur quatre blocs de granit et 2° au fond, sur deux gradins, l'un droit, l'autre renversé, d'environ 10 m de longueur. Il y avait neuf concurrents. Le prix fut décerné au marteau pneumatique Gordon.

Le concours a fait ressortir les avantages des marteaux pneumatiques, avantages nombreux et intéressants.

M. Chalon décrit trois types de marteaux pneumatiques ; le marteau Gordon, le marteau rapide de M. Bornet et le marteau Ingersoll, le plus ancien ; il présente aux membres présents un type de chacun de ces outils.

JUIN 1908.

Ce fascicule est consacré au compte rendu du Congrès du Cinquantenaire de la Société de l'Industrie minérale tenu à Saint-Etienne, du 14 au 20 juin 1908. L'abondance des matières nous oblige à ne donner que les titres des communications faites.

Communication de M. ZIEGLER sur **le développement de l'exploitation des mines** dans le bassin de la Loire de 1855 à 1908.

Communication de M. VICAIRE sur **l'état de la métallurgie** dans le bassin de la Loire.

Lundi 15 juin. — Ire Section des mines. Visite des mines de Roche-la-Molière. IIe Section de la métallurgie. Visite des Aciéries d'Unieux. — Déjeuner aux Aciéries de Firminy.

Ire Section des mines. — Visite des mines de la Malafolie.

IIe Section de la métallurgie. — Visite des aciéries de Firminy.

Communication de M. BUREAU sur **l'exploitation des gisements à dégagement instantané d'acide carbonique.**

Communication de M. MARSAUT sur **la lampe de sûreté** au Congrès du Cinquantenaire de la Société de l'Industrie minérale.

Communication de M. LAUR sur **le monopolisme économique et industriel.**

Proposition de M. MAUSSIER relative à **la revision de la loi de 1810** et à la concessibilité des gangues des filons.

JUILLET 1908.

Suite du compte rendu du Congrès de l'Industrie minérale.

Mardi 16 juin. — Ire Section des mines. — Visite du puits Montmartre de la Société des mines de la Loire.

Visite des mines de la Béraudière.

Visite des mines de Montrambert.

IIe Section de la métallurgie. — Visite des forges et aciéries de Saint-Étienne.

Visite des usines de la Société des limes, râpes et outils de Trublaine.

Visite des ateliers Fourneyron (Crozet et Cie).

Troisième séance du Congrès. — Communication de M. H. FAYOL sur **le cinquantenaire de la Société Commentry-Fourchambault et Decazeville.**

Communication de M. RATEAU sur **l'emploi des turbo-machines** dans les mines et dans les usines métallurgiques.

Communication de M. de Réneville sur **l'exploitation par remblai hydraulique des couches épaisses** aux mines de Totis (Hongrie) et de La Mure (Isère).

Journée du mercredi 17 Juin. — Ire Section des mines. — Visite des houillères de Saint-Étienne.

IIe Section de la métallurgie. — Visite des ateliers de construction mécanique de la Chaleassière.

Banquet à la Chaleassière et discours. — IIe Section des mines. — Visite des installations du puits de la Loire.

IIe Section de la métallurgie. — Visite de l'usine de Montaud de la Compagnie électrique de la Loire.

Visite de la manufacture française d'armes et cycles de Saint-Étienne.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 28. — *11 juillet 1908.*

Les installations d'électricité de Berlin, de 1902 à 1908, par Datterer.

Expériences de recette sur une machine compound-tandem construite par Haniel et Lueg, par H. Wiegleb.

Règles du Lloyd allemand pour la construction des navires de mer, édition de 1998, par H. Schoenoich.

Groupe de Bavière. — État actuel de la navigation aérienne.

Groupe de Berlin. — La politique des grandes villes en matière de transport, particulièrement au point de vue de Berlin *(fin).*

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Chemin de fer, automobile et navire aérien.

Groupe de Hambourg. — Théorie des machines frigorifiques modernes et leurs applications.

Groupe du Rhin inférieur. — Les machines à courant continu modernes et leur emploi pour les grandes puissances et leur actionnement par des turbines à vapeur.

Association des chemins de fer. — Le chemin de fer d'Anatolie.

Revue. — Le barrage de la cataracte dans les Nouvelles-Galles du Sud. — Wagon pour transport de minerai actionné par moteur électrique.

N° 29. — *18 juillet 1908.*

Organisation technique d'une entreprise industrielle, par F. A. Neuhaus.

Exploitation des chemins de fer par traction électrique au moyen de courants monophasés, par Fr. Eichberg.

Les installations électriques de Berlin, de 1902 à 1908, par Datterer *(suite)*.

L'industrie de l'extraction de la houille, par M. Pöpel.

Groupe de Berlin. — La politique des grandes villes en matière de transport, particulièrement au point de vue de Berlin *(suite)*.

Groupe du Rhin inférieur. — La définition de l'invention d'après les nouvelles décisions des tribunaux et du Patentamt.

Bibliographie. — La turbine à vapeur par R. M. Neilson (ouvrage anglais).

Revue. — Presse à estamper, système Lange. — Accident pendant la construction du pont de chemin de fer sur le Rhin, près de Cologne.

N° 30. — *25 juillet 1908.*

Construction des ballons dirigeables, par le comte Zeppelin.

Les roulements à billes et leurs applications, par A. Bauschlicher.

Organisation technique d'une entreprise industrielle, par F. A. Neuhaus *(fin)*.

La chaleur spécifique du fer, par P. Oberhoffer.

Les installations d'électricité de Berlin, de 1902 à 1908, par Datterer *(fin)*.

Groupe de Berlin. — La politique des grandes villes en matière de transports, particulièrement au point de vue de Berlin.

Groupe de Hanovre. — Les ponts métalliques et la chute du pont de Québec. — Le développement des usines électriques municipales.

Groupe de Magdebourg. — Concours pour appareils d'éclairage.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Chauffage à l'eau chaude à circulation accélérée.

Association des chemins de fer. — Reconstruction du pont du Métropolitain sur le port de Humboldt, à Berlin.

Revue. — Machine à fraiser les abouts des rails de la Vereinigten Schwirgel und Maschinenfabriken A. G. — Vitesse des trains rapides sur les chemins de fer de la Russie d'Europe.

N° 31. — *1er août 1908.*

Notice nécrologique sur Gustave Zeuner, par R. Mollier.

Installation de roues Pelton dans la station d'électricité de la ville de Nordhausen, par A. Pfarr.

Le travail des métaux, par H. Baeseler.

Installation de blanchisseries sur les vapeurs pour service de voyageurs, par A. Rohn.

Les roulements à billes et leurs applications, par A. Bauschlicher *(fin)*.

Groupe de Brunswick. — Progrès contre la prévention de la fumée et de la poussière.

Groupe de Dresde. — Absorption de l'oxygène de l'atmosphère dans les lampes électriques à arc à haute tension.

Groupe de Poméranie. — Moyens d'économiser du combustible dans les machines à vapeur.

Bibliographie. — Les ponts métalliques, par G. Schaper. — Réglage des turbines à vapeur pour les diverses applications, par W. Gentsch. — Les accidents d'automobiles en Allemagne, de 1906 à 1907, par G. Becker.

Revue. — Le terminus du chemin de fer de l'Erie à Jersey City. — Durée du travail des machines-outils. — Four de fusion pour la fonte. — Cheminée avec pare-étincelles, pour les chemins de fer. — Désignation graphique des types de locomotives.

N° 32. — *8 août 1908.*

Dock flottant des chantiers impériaux de Wilhelmshaven, par von Klitzing.

Le tunnel de Rotherhithe à Londres, par W. Kaemmerer.

Le travail des métaux, par H. Baeseler *(fin)*.

Turbine à vapeur de 12,000 ch, construite par Franco Tosi, à Legnano, pour la Compagnie allemande transatlantique d'Electricité, à Buenos-Ayres.

Groupe de Francfort. — Utilisation des forces hydrauliques naturelles en Allemagne et ses conséquences pour l'avantage du pays.

Groupe de Carlsruhe. — Régulateur pour moteurs hydrauliques.

Groupe de Lausitz. — Les instruments modernes du crédit et particulièrement les chèques.

Groupe du Rhin inférieur. — Les recherches métallographiques appliquées à la soudure autogène.

Bibliographie. — Manuel du béton armé, par T. von Ewperger. — Manuel de législation industrielle, par A. Osterrieth.

Revue. — Le soixantième anniversaire de la fondation de la Société des Ingénieurs Civils de France. — Dispositifs de protection pour les meules d'émeri. — Nouveau record du *Lusitania*.

N° 33. — *15 août 1908.*

Etude sur les locomotives à vapeur surchauffée construites par la Société Berlinoise, précédemment Schwartzkopff, par E. Bruckmann.

Les meules à polir et leur emploi, par A. Lebert.

Pertes d'ammoniaque dans les machines frigorifiques, par H. Mollier.

Installation d'élévation d'eau de la fabrique de tissus de Walsum, sur le Rhin, par Berkenkamp.

Groupe de Berg. — Cartels, syndicats et trusts.

Groupe de Thuringe.

Bibliographie. — Influence des courbes sur le débit et la vitesse dans les conduites d'eau et canaux découverts, par A. Stading.

Revue. — Locomotive-tender du North Eastern Ry. — Le canal de navigation de Masuri. — Turbine à vapeur équilibrée de la Compagnie Westinghouse. — Le dirigeable *Zeppelin.*

N° 34. — *22 août 1908.*

Nouveau marteau à air comprimé, par H. Meyer.

Expérience sur une turbine à vapeur, par F. Marguerre.

Etude sur les locomotives à vapeur surchauffées construites par la Société Berlinoise, précédemment L. Schwartzkopff, par G. Bruckmann *(suite).*

Groupe de Berg. — Doit-on conseiller l'emploi pour des pressions de 12 kg, de chaudières avec carneaux intérieurs cylindriques de 11 à 12 m de longueur sur 1,20 à 1,35 m de diamètre ?

Groupe de Hanovre. — Quel système de chaudières convient le mieux pour un cas donné ?

Groupe du Bas-Weser. — Fermeture rapide pour réservoir de vapeur.

Groupe de Wurtemberg. — Nouvelles locomotives pour trains rapides en France et en Belgique.

Revue. — Activité des établissements impériaux d'essais de physique industrielle en 1907. — Conduites pour le transport des huiles épaisses. — Le dirigeable *Parseval.* — L'aéroplane *Wright* en France. — Expériences sur la dessiccation de l'air, procédé Gayley.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 21450-9-08. (Encre Lorilleux).



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

DÉCEMBRE 1908

N° 12

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de décembre 1908, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

La Vallée Poussin (L. de). — *Le Nitrate de Norvège. Sa fabrication.* Communications faites aux Membres du Jury de l'Exposition Internationale de Marseille et au Congrès des Applications de l'Électricité, par L. de La Vallée Poussin (in-4°, 270 × 210 de 27 p., avec 25 fig.). 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.)

45706

Arts militaires.

Espitallier (G.) et Durand (F.). — *Ponts Improvisés, Ponts Militaires et Ponts Coloniaux*, par G. Espitallier et F. Durand (Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du Dr Toulouse. Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie. Directeur : M. d'Ocagne) (in-18, 185 × 120 de x-392-xii p., avec 99 pl.). Paris, O. Doin et fils, 1909. (Don des éditeurs.) 45694

JACOB (C[l] L.). — *Résistance et Construction des Bouches à feu*, par le Colonel L. Jacob (Encyclopédie scientifique publiéé sous la direction du D[r] Toulouse. Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie. Directeur : M. d'Ocagne), (in-18, 185 × 120 de XXIII-370-XII p., avec 137 fig.). Paris, O. Doin et fils, 1909. (Don des éditeurs.) 45695

Chemins de fer et Tramways.

CANOVETTI (C.). — *Il Traforo dello Spluga*, per C. Canovetti (in-8°, 220 × 150 de 48 p.). Firenze, Società Tipografica Fiorentina, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45716

Chimie.

MOLINA (R.). MONTPELLIER (J.-A). — *Les Explosifs et leur fabrication*; par Rodolfo Molina. Traduit sur la deuxième édition italienne, par J.-A. Montpellier (in-8°, 215 × 135 de 374 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1909. (Don des éditeurs.) 45678

RAZOUS (P.) ET (A.). — *Filtration, stérilisation et épuration des eaux potables et des eaux employées dans l'industrie*, par Paul Razous et Armand Razous (in-8°, 255 × 165 de 83 p., avec 15 fig.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1909. (Don de l'éditeur.) 45701

SERRANT-BELLENOUX (E.). — *La Chimie dans l'Art militaire moderne*, par E. Serrant-Bellenoux (in-8°, 220 × 140 de x-133 p., avec 1 pl.). Paris, H. Desforges, 1909. (Don de l'éditeur.) 45711

WURTZ (AD.). FRIEDEL CH.). CHABRIÉ (C.). RENGADE (E.). — *Deuxième Supplément au Dictionnaire de Chimie pure et appliquée* de Ad. Wurtz. Publié sous la direction de Ch. Friedel, C. Chabrié, E. Rengade, Secrétaire de la Rédaction. *Vol. VII. POD-Z* (in-8°, 255 × 165 de 1058 p. à 2 col.). Paris, Hachette et C[ie], 1908. 45705

Construction des Machines.

BARBET (E.) ET LANCO (F.). — *Organisation et fonctionnement des Ateliers de travail du bois*, par E. Barbet et F. Lanco (in-8°, 255 × 165 de 271 p., avec 96 fig.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1909. (Don de l'éditeur.) 45702

DENY (ED.). — *Machines à vapeur. Étude théorique et expérimentale de la Surchauffe. Surchauffeur Schwoerer*, par Ed. Deny (Extrait du Bulletin Technologique N° 5 (Mai 1908) de la Société des Anciens Elèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers) (in-8°, 210 × 130 de 88 p., avec 6 fig.). Paris, Gauthier-Villars. (Don de l'auteur.) 45713

LETOMBE (L.). — *Les Moteurs*, par L. Letombe (Encyclopédie industrielle) (in-18, 180 × 115 de VIII-436 p., avec 130 fig.). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1909. (Don des éditeurs.) 45679

Économie politique et sociale.

Annuaire statistique de la Ville de Paris. XXVIIe année 1906 et principaux renseignements pour 1907 (République Française. Préfecture de la Seine. Direction des Affaires municipales. Service de la Statistique municipale, M. le Docteur Jacques Bertillon, Chef des Travaux de la Statistique) (in-8°, 255 × 170 de xxxii-712 pages). Paris, Masson et Cie, 1908. (Don de la Préfecture de la Seine.) 45698

Électricité.

DESPAUX (A.). — *L'Électricité dévoilée*, par A. Despaux (in-8°, 185 × 120 de 232 p., avec 81 fig.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1909. (Don de l'auteur.) 45703

MINET (A.). — *Le Four électrique. Son origine. Ses transformations et ses applications*, par Adolphe Minet. *Troisième fascicule* (in-8°, 280 × 190 de 36 p., avec 22 fig.). Paris, H. Desforges, 1908. (Don de l'éditeur.) 45712

Enseignement.

École spéciale d'Architecture, Année 1908-1909. Séance d'ouverture du 15 octobre 1908. Présidence de M. Georges Perrot (in-8°, 225 × 145 de 40 p.). Paris, Imprimerie générale Lahure. 45700

Université libre de Bruxelles. LXXVe année académique. Annuaire pour l'année académique 1908-1909. Séance de rentrée du 12 octobre 1908. Rapport sur l'année 1907-1908 (in-8°, 230 × 150 de 109 p.). Bruxelles, Établissements Emile Bruyant, 1908. 45692

Législation.

Annuaire des Ingénieurs de France, 1906, 1907, 1908 (3 vol. in-8°, 215 × 135 de xxvi-460 p., xxix-485 p., xxvii-552 p. à 2 col.). Paris, J. Loubat et Cie. (Don de M. J. Loubat, M. de la S.) 45689 à 45691

BERTHIOT (A.). — *Dictionnaire de Législation Industrielle et Commerciale*, par Albert Berthiot (in-16, 185 × 115 de 414 p.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1909. (Don de l'éditeur.) 45704

POUILLET (E.) TAILLEFER (A.). CLARO (CH.). — *Traité théorique et pratique des Brevets d'Invention et de la Contrefaçon*, par Eugène Pouillet. 5e édition refondue et mise au courant de la législation de la doctrine et de la jurisprudence, par André Taillefer et Charles Claro (in-8°, 225 × 140 de xl-1 275 p.). Paris, Marchal et Billard, 1909. (Don de M. A. Taillefer, M. de la S.) 45680

Médecine, Hygiène, Sauvetage.

DULAC (J.). — *L'air. Effets de son impureté sur la Santé. Principes d'Hygiène. Moyens de prolonger la vie. Dangers à éviter. Nos ennemis invisibles*, par Jules Dulac (in-8°, 200 × 130 de VI-235 pages). Paris, Ch. Béranger, 1909. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45685

Métallurgie et Mines.

BEL (J.-M.). — *L'Or et les autres produits miniers dans les Colonies Françaises*, par M. J.-M. Bel. Conférence donnée à l'Office Colonial, le 27 février 1908 (in-8°, 240 × 155 de 42 p., avec 26 phot.). Melun, Imprimerie administrative, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45688

LECOMTE-DENIS (M.). CARNOT (A.). — *Le Manganèse. Propriétés. Applications. Minerais. Gisements*, par Maurice Lecomte-Denis. Préface de M. A. Carnot (in-8°, 235 × 155 de 110 p.). Paris, Dunod et Pinat. (Don des éditeurs.) 45715

WATTEYNE (V.) ET BREYRE (A.). — *Emploi des Explosifs dans les Mines de houille de Belgique pendant l'année 1907*. Statistique comparative dressée d'après les documents officiels, par Victor Watteyne et Adolphe Breyre (Ministère de l'Industrie et du Travail. Administration des Mines. Service des Accidents Miniers et du Grisou) (Extrait des Annales des Mines de Belgique, tome XIII) (in-8°, 240 × 160 de 56 p.). Bruxelles (Ix.), L. Narcisse, 1908. (Don du Ministère de l'Industrie et du Travail.) 45681

WATTEYNE (V.). — *La Sécurité dans les Mines aux États-Unis*, par V. Watteyne (Extrait des Annales des Mines de Belgique, tome XIV) (in-8°, 240 × 155 de 36 p.). Bruxelles (Ix.), L. Narcisse, 1909. (Don du Ministère de l'Industrie et du Travail.) 45682

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Compagnie universelle du Canal maritime de Suez. Exposition Franco-Britannique. Londres 1908. Le Canal maritime de Suez. Notes, Tableaux et Planches (in-4°, 310 × 215 de 90 p., avec XIX tabl. et XII pl.). Paris, Société anonyme de Publications périodiques, 1908. (Don de la Compagnie.) 45709

KRESS (W.). CHEVREAU (R.). — *Aviation. Comment l'oiseau vole. Comment l'homme volera*, par Wilhelm Kress. Traduit par R. Chevreau (in-8°, 255 × 165 de VI-93 p., avec 34 fig.). Paris, F.-Louis Vivien, 1909. (Don de l'éditeur.) 45717

MALLET (F.). — *Les Aéronautes et les Colombophiles du Siège de Paris*, par François Mallet (in-18, 200 × 130 de 153 p.). Paris, F.-Louis Vivien, 1909. (Don de l'éditeur). 45720

Micciollo (A.). — *Aéronef dirigeable plus lourd que l'air (Hélicoptère)*, par Afred Micciollo (in-8°, 255 × 165 de 60 p., avec 1 pl.). Paris, F.-Louis Vivien, 1909. (Don de l'éditeur.) 45719

Micciollo (A.). — *Théorie des Hélices aériennes*, par Alfred Micciollo (in-8°, 255 × 165 de 40 p.). Paris, F.-Louis Vivien, 1909. (Don de l'éditeur.) 45718

Physique.

Besson (P.). — *Radioactivité des Eaux d'Uriage-les-Bains (Isère)*. Note de M. Paul Besson, présentée par M. d'Arsonval (Extrait des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 9 novembre 1908) (in-4°, 270 × 210 de 2 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45686

Sciences mathématiques.

Bulletin du Laboratoire d'Essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers. N° 15 (in-8°, 255 × 165 de 56 p., avec 7 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1908. (Don de M. le Directeur du Laboratoire d'Essais.) 45697

Schilling (Dr F.). Gérard (L.). — *La Photogrammétrie comme application de la Géométrie descriptive*, par le Dr Friedrich Schilling. Édition française rédigée, avec la collaboration de l'auteur, par L. Gérard (in-8°, 250 × 160 de vi-101 p., avec 80 fig. et 5 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1908. (Don de l'éditeur.) 45684

Simié (Dr J.). — *Ein Beitrag zur Berechnung der rechteckigen Platten*, Von Ing. Dr. Jovo Simié (Sonderabdruck aus des « Zeitschrift des Österr. Ingenieur-und Architekten-Vereines ». Nr. 44, 1908) (in-4°, 335 × 255 de 6 p. à 2 col., avec 13 fig. et 4 tabl.). Wien, Im Selbstverlage des Verfassers, 1908. (Don de l'auteur.) 45696

Sciences morales. — Divers.

*A mon père Émile Trélat. A ma mère ***. Inauguration de leur monument funèbre, 30 octobre 1908. Gaston Trélat* (in-8°, 220 × 140 de 10 p.). Paris, Imprimerie générale Lahure. (Don de M. G. Trélat, M. de la S.) 45699

Notice nécrologique. Alphonse Debeil, Directeur général honoraire des Ponts et Chaussées de Belgique, Président de l'Association Internationale permanente des Congrès de navigation (in-8°, 235 × 155 de 7 p.). Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1908. (Don de l'Association Internationale permanente des Congrès de Navigation.) 45687

Technologie générale.

BORNE (L.). — *Exposition Internationale de Milan 1906. Section Française. Hygiène et Assistance. Groupes 71 à 74. Classification italienne, classes 16. 111 et 112 de 1900. Rapport*, par M. L. Borne (Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Travail) (in-8°, 275 × 185 de 93 p.). Paris, Comité Français des Expositions à l'Étranger, 1908. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45693

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLXXIII. 1907-08. Part. III (in-8°, 225 × 135 de VII-424 p., avec 8 pl.). London, Published by the Institution, 1908. 45714

POPP (K. FREIHERR v.). — *Bericht über die Feier des 60-Jährigen Bestandes des Österreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines am 11. Jänner 1908*. Verfasst von Ing. Konstantin Freiherr v. Popp (in-8°, 270 × 190 de 74 p.). Wien, Eigentum und Verlag des Vereines. 1908. (Don de l'Österreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines.) 45683

Premier Congrès International du Froid, Paris, du 5 au 12 octobre 1908. État actuel et desiderata de l'Industrie du Froid en France, par les Comités régionaux du 1er Congrès (in-8°, 240 × 160 de 307 p., avec gravures, similis et planches hors texte). Paris, Secrétariat général. (Don de l'éditeur.) 45707

Programme du Congrès des Sociétés Savantes à Rennes en 1909 (Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Comité des Travaux historiques et scientifiques) (in-8°, 250 × 170 de 21 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1908. (Don du Ministère de l'Instruction publique.) 45677

Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. LXI. December 1908 (in-8°, 225 × 150 de VIII-587 p., avec LX pl.). New-York, Published by the Society, 1908. 45710

Travaux publics.

RÉSAL (J.). — *Cours de Ponts métalliques professé à l'École nationale des Ponts et Chaussées*, par Jean Résal. *Tome 1* (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de VII-663 p., avec 370 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1908. (Don de l'éditeur.) 45708

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de décembre 1908, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

A. Aguillon,	présenté par MM.	Couriot, Bordet, Biver.
A. Bouroz,	—	Reumaux, Coiseau, de Loisy.
J. Boutaric,	—	Bergeron, Calmettes, Guillet.
M. Dardenne,	—	Barbet, Appert, Couriot.
S. Doise,	—	Reumaux, Gruner, Fèvre.
Th. M. Havard-Duclos,	—	Reumaux, Gruner, Fèvre.
L. Hodgson,	—	Bilbie, Lange, Sauvée.
A. Jacquot,	—	Jolly, Lumet, Périssé.
H. La Burthe.	—	Carbonal, Hannebicque, Michel.
A. Lély,	—	Reumaux, Couriot, de Loisy.

Comme Membre Sociétaire Assistant, M. :

A. Bilard, présenté par MM. Armengaud, Lemale, Croizier.

Comme Membre Associé, M. :

A. Terrail, présenté par MM. Bardolle, Bideau, Merklen.

Erratum *au Bulletin de Novembre 1908.*

Page 841. — Mémoire sur *le Carborundum*, par M. L. Baraduc-Muller. 17e ligne à partir du haut, au lieu de « *minimum* » il faut lire « *maximum* ».

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE DÉCEMBRE 1908

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1908

Présidence de M. E. Reumaux, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

G. Leroide, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1863), Membre de la Société depuis 1877. A été attaché à la Compagnie du chemin de fer d'Orléans.

Ch. Foucart, Membre de la Société depuis 1874. Ancien Président de la Société technique de l'Industrie du Gaz en France; Président de la Compagnie des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz et de la Compagnie du Gaz et d'Électricité de Melun, copropriétaire et gérant de l'usine à gaz de Poissy, propriétaire des usines à gaz de Laon et de Vervins.

H. Limousin, ancien élève de l'Ecole des Arts et Métiers de Châlons (1883), Membre de la Société depuis 1899, Ingénieur civil.

A. Z. C. Belin, Membre de la Société depuis 1877; a été Enseigne de vaisseau en 1870, puis Ingénieur attaché aux Chemins de fer brésiliens pour leur construction et leur exploitation ;

P. F. Guillomot, ancien Élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons (1859),Membre de la Société depuis 1897, ancien Directeur de la Compagnie des conduites d'eau de la ville de Liége ; Vice-Président du Conseil d'administration et ancien Directeur de la Compagnie des Eaux de la Banlieue de Paris.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.



M. le Président fait connaître que notre ancien Président, M. Léon Appert, a été nommé Rapporteur technique près le Comité consultatif des Arts et Manufactures.

M. Michel-Schmidt a été nommé Commandeur de l'Ordre de Saint-Alexandre de Bulgarie.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un de nos plus prochains Bulletins.

M. le Président fait connaître que notre nouveau Collègue, M. A. Terrail, admis dans la séance de ce soir, a versé à la Société une somme de 50 f pour l'augmentation de son fonds social. M. le Président adresse à ce Collègue les remerciements de la Société.

M, le Président annonce que les sujets de concours arrêtés par la Commission spécialement nommée à cet effet pour les Prix Giffard, sont les suivants :

Prix Giffard 1908, prorogé 1911.— *De l'utilisation, à la production de l'énergie mécanique, des combustibles solides, liquides ou gazeux. — Étude théorique et expérimentale. — État actuel. — Avenir de la question.*

Prix Giffard 1911. — *Etude comparative des différents modes de traction en usage sur les voies ferrées pour les services interurbains des grands réseaux. — Examen de la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur pour les mêmes services. — Son extension aux services internationaux. — Conséquences.*

M. le Président rappelle que la valeur de chacun de ces Prix est de 3 000 f, dont une médaille d'or.

Les Membres de la Société, qui désirent concourir, ont *jusqu'au 31 décembre 1910* pour déposer leurs mémoires spécialement faits en vue des concours.

M. le Président rappelle qu'une note insérée dans le procès-verbal de la séance du 20 novembre dernier a fait connaître que la Société ferait, cette année, une visite à la deuxième partie de l'Exposition de l'Automobile, qui doit avoir lieu du 24 au 30 décembre courant.

Les démarches nécessaires sont en cours et un supplément au procès-verbal de cette séance donnera les indications définitives.

Le Ve Congrès de l'Association internationale pour l'Essai des matériaux se tiendra à Copenhague, du 7 au 11 septembre 1909. La Société y sera, comme aux précédents Congrès, représentée par un certain nombre de délégués.

La Société industrielle d'Amiens met au concours pour l'année 1908-1909 une série de questions se rapportant :

1° Aux arts, à la mécanique, à la construction ;
2° A la filature, la confection, le tissage ;
3° A l'agriculture, l'histoire naturelle, la physique, la chimie ;
4° Au commerce, à l'économie politique et sociale.

Les renseignements relatifs à ces congrès et concours sont déposés à la Bibliothèque.

M. E. Cuvelette a la parole pour sa communication sur *l'Emploi des gaz des fours à coke.*

M. E. Cuvelette rappelle que le problème de l'utilisation directe des gaz industriels (gaz de haut fourneau, de four à coke) ne date guère que d'une dizaine d'années. Les premiers essais ont été faits aux usines Cockerill (1898) sur un moteur à simple effet de 600 ch. Les résultats en ont vivement frappé le monde industriel : le rendement thermique du moteur à gaz fut trouvé être de 30 0/0, tandis que celui du groupe chaudières-machines à vapeur ne peut guère être estimé à plus de 12 0/0.

La réalisation industrielle suivit assez vite pour le moteur à gaz de haut fourneau. La principale difficulté, celle des poussières, est actuellement surmontée de façon tout à fait satisfaisante par l'emploi de ventilateurs centrifuges à injection d'eau dans l'ouïe, suivis d'épurateurs du second degré (appareils Theysen ou autres) qui ramènent la teneur du gaz à 0,02 g par mètre cube. Les puissances installées se comptent par centaines de mille chevaux. Telle aciérie américaine a maintenant 120 000 ch installés et en aura sous peu 250 000.

De façon absolue et si toutes choses favorables étaient réalisées, le problème aurait, pour le gaz de four à coke, une importance tout à fait comparable à celle qu'il a pour le moteur à gaz de haut fourneau. On peut supputer que si la production d'une tonne de fonte laisse disponible, pour l'utilisation dans les moteurs, une énergie thermique de 2 millions de calories, la fabrication de la quantité correspondante de coke pourrait laisser 1 million de calories.

Il s'en faut que le succès du moteur à gaz de four à coke soit, dans cette proportion de moitié, à celui du moteur à gaz de haut fourneau. Cependant, un progrès considérable a été déjà réalisé, celui de la substitution aux fours à air froid de fours à air chaud ou à régénérateurs de chaleur, qui permettent d'obtenir une proportion de gaz disponible de 40 à 50 0/0.

Ce type de fours à régénérateurs a été réalisé en premier lieu par Hoffmann (four Otto-Hoffmann). Il ne s'était guère répandu jusqu'à ces dernières années, lorsque l'attention des industriels fut vivement ramenée sur lui par les essais faits, surtout en Amérique, pour produire le gaz de ville dans un four à coke au lieu d'une cornue, ou par ceux effectués en Autriche et en Allemagne pour utiliser le gaz directement dans les moteurs.

Aujourd'hui, les systèmes de ces fours à régénérateurs sont assez nombreux.

Ils peuvent se ramener à deux types généraux : ceux où les régénérateurs sont spéciaux à chaque four (système Koppers), et ceux où ils sont communs à toute la batterie (systèmes Otto, Coppée, Collin).

La proportion de gaz disponible peut s'élever à 40-50 0/0 et permettrait de réaliser, par four, une puissance de 50 ch.

Le gaz de four à coke, traité dans une usine à récupération de sous-produits où l'on recueille les goudrons, eaux ammoniacales et benzols, ne peut être employé tel quel dans un moteur à gaz. Les impuretés qu'il

contient (goudron, soufre, cyanures) mettraient rapidement les moteurs hors de service. De très graves insuccès doivent être attribués à la méconnaissance de cette nécessité.

Il faut, au dire des constructeurs de moteurs, que le gaz soit exempt, autant que le permet la pratique, de soufre et de goudron.

Pour le goudron, il n'y a, en général, pas besoin d'installations spéciales, à moins que l'usine à récupération ne contienne pas de laveur pour benzol; dans ce cas, on ferait précéder l'usine d'épuration d'un Pelouse ou de laveurs rotatifs spéciaux, le Zschocke, par exemple.

Généralement, le passage du gaz à travers les masses d'épuration suffit pour le débarrasser des dernières traces de goudron, et en amener la teneur à 0,02 g par mètre cube, teneur sans aucun effet nuisible.

On se débarrasse du soufre au moyen de matières d'épuration (masse de Lamming, minerai de fer d'alluvion). La teneur peut être ramenée à 0,2 g-0,5 g de soufre par mètre cube ; à ce taux, elle paraît sans inconvénient pour la conservation des moteurs.

Le cyanure est retenu seulement en partie par les masses épurantes.

Celles-ci, après usage, sont revivifiées par simple exposition à l'air ; elles peuvent ainsi servir une dizaine de fois ; après quoi elles sont utilisées pour le soufre et le cyanure qu'elles contiennent.

Un progrès intéressant, réalisé dans cette industrie de l'épuration, a consisté à ajouter au gaz, avant son passage dans les épurateurs, une certaine proportion d'air (2 0/0 environ). Les masses peuvent ainsi servir pendant 3 à 4 fois plus de temps, avant de devoir être revivifiées.

Le gaz, ainsi débarrassé de ses impuretés les plus nuisibles, est un gaz exceptionnellement riche en hydrogène (55 à 60 0/0). Le danger des allumages intempestifs et la violence des chocs qui en résultent sont par suite plus grands qu'avec les autres gaz industriels ; même le gaz de ville ne renferme guère que 40 0/0 d'hydrogène.

Abstraction faite de la perfection de la construction des moteurs, il faut donc réaliser une épuration parfaite du gaz, employer des huiles qui ne laissent aucun résidu solide, confier les machines à un personnel expérimenté, capable de prendre des diagrammes et de régler minutieusement les allumages des divers effets.

On peut évaluer à 40 000 ch environ la puissance totale des moteurs installés sur le continent. La plupart sont du type double tandem, deux cylindres à double effet, à cycles à quatre temps croisés. Leur puissance maximum est d'environ 1 200 à 1 500 ch.

Par l'adoption du type double tandem jumelé, on réalise des puissances unitaires de 2 400 à 2 800 ch.

Des essais très précis, réalisés aux usines Cockerill, ont montré qu'on pouvait facilement réaliser le kilowatt aux bornes du tableau avec une consommation de 1 mètre cube de gaz, à 4 000 calories. Avec chaudières et turbines, il faudrait une consommation de $2{,}5^{m^3}$ environ, soit deux et demi fois plus.

Le prix de revient du kilowatt-heure est sensiblement le même, mais, dans le premier cas, on disposerait d'une puissance plus que double.

L'intérêt de l'utilisation directe du gaz de four à coke dans un moteur à explosion est donc incontestable. Le peu d'applications réalisées

jusqu'ici tient en partie au coût élevé de ces moteurs et en partie à une certaine méconnaissance des nécessités de la question.

M. le Président remercie M. Cuvelette de son exposé très clair et très complet, et ajoute qu'en présence des grands progrès réalisés au cours de ces dernières années dans la construction des moteurs à gaz de grande puissance, il n'est pas douteux que les producteurs de coke n'aient tout intérêt à disposer leurs fours et à diriger leur fabrication de façon à réduire au minimum le gaz utilisé pour la cuisson du coke, en d'autres termes à substituer l'air chaud à l'air froid pour la combustion du gaz dans les carneaux de fours ; ils se réserveront ainsi le maximum de cet important sous-produit de la fabrication qui est le gaz provenant de la distillation de la houille et non utilisé pour le chauffage des fours, et en retireront le meilleur effet utile (l'expérience et la théorie sont d'accord sur ce point) en le brûlant dans des moteurs à explosion. C'est bien la voie de l'avenir.

M. L. Baraduc-Muller a la parole pour traiter la question du *Carborundum.*

M. L. Baraduc-Muller, en présence de l'emploi grandissant du four électrique, a pensé qu'il serait intéressant de résumer quelques-unes des propriétés, déjà connues ou récemment découvertes, de ce produit du four électrique qu'est le « Carborundum » ou Carbure de Silicium, contemporain des premiers fours à résistance.

Il rappelle l'origine très ancienne du carborundum, dont la présence a été constatée dans un fragment d'astre tombé sur notre planète ; puis, par une suite d'exemples, il démontre que la formation de ce corps est plus fréquente qu'on ne pourrait le croire, qu'il se forme non seulement dans la fabrication du carbure de calcium, mais même dans les filaments des lampes à incandescence.

Certains chimistes ont laissé échapper la découverte de ce corps après l'avoir eu entre les mains, treize ans avant l'apparition officielle du carborundum. Le Français Schutzenberger fut le premier chimiste qui ait eu conscience de la nouveauté du carborundum, lorsqu'il l'isola en 1892 à l'état amorphe au cours de recherches ayant un autre but.

M. Baraduc-Muller décrit les différentes phases par lesquelles est passée la découverte industrielle du carborundum cristallisé par Achéson, ainsi que la marche détaillée d'un four industriel à carborundum. Il fait une esquisse rapide des débuts de la Carborundum Company en Amérique, qui, en 1894, fabriquait 45 t et n'en vendait que 25 ! Il montre, sous un jour curieux, une forme du caractère américain, dont la ténacité et l'audace finissent toujours par atteindre le but qu'il s'est fixé, ainsi que le prouve, entre autres, la production américaine du carborundum, passée par an de 45 t en 1894 à 4 500 t actuellement.

Abordant ensuite les propriétés physiques du carborundum, forme cristalline, densité, dureté, etc., M. Baraduc-Muller traite avec quelques détails de l'emploi du carborundum comme abrasif et décrit à ce propos la fabrication des meules et les conditions dans lesquelles elles sont essayées, ainsi que le nouvel emploi du carborundum pour cons-

tituer des trottoirs et des marches non glissantes et absolument inusables.

Quant à la conductibilité calorifique du carborundum, une étude toute récente prouve qu'elle est remarquable et cinq fois plus élevée que celle des produits réfractaires argileux ; comme les produits en carborundum peuvent être exécutés sous une épaisseur cinq à six fois moins élevée que celle des produits réfractaires argileux, on conçoit l'économie de combustible qui résultera de l'adoption de produits en carborundum pour porter à une température déterminée les parois d'un mouffle, par exemple.

La conductibilité électrique du carborundum est peu connue, car il n'a rien été publié sur les résultats des recherches qui ont pu être faites dans cet ordre d'idées,... à moins qu'il n'en ait pas été fait du tout !

Le carborundum est employé en mélange avec d'autres corps pour constituer des résistances électriques calorigènes ; enfin, en télégraphie sans fil, il constituerait un radio-conducteur très sensible qui aurait l'avantage sur les autres détecteurs d'avoir une sensibilité constante.

Au sujet des propriétés chimiques du carborundum, les conditions techniques qui président à sa formation étaient très mal connues jusqu'ici ; deux Américains viennent d'élucider la question en montrant que la température de formation du carborundum est seulement de 1 950 degrés au lieu de 3 500 degrés, et qu'à 2 200 degrés il est entièrement dissocié en silicium volatil et en carbone fixe.

M. Baraduc-Muller s'excuse, en présence de l'heure tardive et en présence des nombreux sujets qui lui restent à traiter, comme l'action des corps chimiques, solides, liquides ou gazeux sur le carborundum en fonction de la température, d'être obligé de restreindre sa communication et de ne pouvoir non plus faire l'étude critique de l'emploi du carborundum comme produit réfractaire à haute température : les questions qu'il n'aura pu aborder ce soir seront traitées en détail dans le mémoire qui paraitra dans le Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France.

Au point de vue métallurgique, dès l'apparition du carborundum, on a cherché à utiliser sa haute teneur en silicium pour remplacer dans l'épuration des aciers, par exemple, les ferrosilicium peu riches.

M. Baraduc-Muller aborde enfin le résumé d'une étude fort intéressante sur de nouvelles réactions, découvertes par lui en 1903-1904, qui se passent entre le carborundum et certains oxydes métalliques à des températures peu élevées (1 350 degrés environ) et qui lui ont permis de préparer, sans four électrique, des alliages du silicium avec un métal comme le fer, le cuivre, le nickel, le manganèse, le chrome, etc., identiques aux alliages industriels de même composition, qui ne sont fabriqués à l'heure actuelle qu'au four électrique.

La réaction qui préside à ce procédé métallurgique est la suivante :

$$SiC \text{ (carborundum)} + MO \text{ (protoxyde métallique)} = SiM \text{ (siliciure métall.)} + CO \text{ (oxyde de carbone)}$$

Elle lui a permis de récupérer jusqu'à 99 0/0 du silicium contenu dans le carborundum. Un côté non moins intéressant de cette réaction

est la possibilité d'employer des minerais naturels oxydés, comme la chromite, la pyrolusite, l'acerdèse, etc., et d'obtenir des alliages du silicium ne contenant qu'une très faible teneur en carbone, moins de 0,5 0/0 en général.

La facilité avec laquelle cette réaction se produit a permis, de plus, à M. Baraduc-Muller de l'effectuer, dans de certaines conditions, à la surface de bains liquides d'acier ordinaire et même de fonte (en prenant certaines dispositions dans ce dernier cas) et de transformer ceux-ci, en une seule opération, en aciers spéciaux, par exemple ternaires, comme fer-silicium-carbone, ou quaternaires, comme fer-silicium-manganèse-carbone, etc., dont il poursuit en ce moment l'étude.

Ses dernières recherches sur la transformation d'une fonte ou d'un acier ordinaire en un acier spécial, en une seule opération, sont toutes récentes; désireux qu'il était de donner à la Société des Ingénieurs Civils, dans sa communication sur le carborundum, la primeur de cette partie de ses recherches, il s'excuse de ne pouvoir, en conséquence, présenter celle-ci complètement terminée.

M. le Président remercie M. Baraduc-Muller de l'exposé remarquablement clair qu'il vient de faire d'un nouveau et brillant succès du four électrique. Il est à souhaiter que la fabrication de carborundum se développe en France et enrichisse notre production nationale; elle intéresse la plupart des industries, en particulier celle des mines qui depuis quelques années substitue avec succès et profit le carborundum au diamant pour le forage des trous de mine.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. H. Boy de la Tour, E. Potron, H. Portier, P. Richemond comme Membres Sociétaires Titulaires;

MM. A. de Wolgensky, F. Audouin comme Membres Sociétaires Assistants;

M. E. V. Herbron comme Membre Associé.

MM. J. Aguillon, A. Bouroz, J. Boutaric, M. Dardenne, L. Hodgson, A. Jacquot, H. La Burthe, T. M. J. Havard Duclos, S. Doise, A. Lely sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires;

M. A. Bilard comme Membre Sociétaire Assistant;

M. A. Terrail comme Membre Associé.

La séance est levée à 11 h. 35 m.

L'un des Secrétaires Techniques :

Taupiat de Saint-Symeux.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1908

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

PRÉSIDENCE DE M. E. BARBET, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. E. BARBET exprime à la Société les regrets de M. E. Reumaux qui, souffrant, ne peut présider la séance.

La Société étant réunie en Assemblée générale, conformément à l'article 17 des statuts, M. L. DE CHASSELOUP-LAUBAT, Trésorier, a la parole pour la lecture de son Rapport annuel sur la situation financière. Il s'exprime ainsi :

MESSIEURS,

Le 30 novembre 1907, les Membres de la Société étaient au nombre de	3 694
Du 1er décembre 1907 au 30 novembre 1908, les admissions ont été de	178
formant un total de	3 872
Pendant ce même laps de temps, la Société a perdu, par décès, démissions et radiations	134
Le total des Membres de la Société, au 30 novembre 1908, est ainsi de	3 738
Il a donc augmenté, pendant l'année, de.	44

BILAN AU 30

ACTIF

1° Fonds inaliénable :

a. Legs Nozo	Prix . . . . . Fr.	6 000 »	
b. Fondation Michel Alcan	—	4 317,50	
c. Fondation Coignet	—	4 285 »	
d. Don Couvreux	—	4 857,75	
e. Legs Gottschalk	—	10 000 »	
f. Don Chevalier	—	3 969 »	
g. Don G. Canet	—	36 026,95	
h. Legs Moreaux	—	40 060,15	
i. Legs Giffard	Prix et Secours	50 372,05	
j. Donation Hersent	—	20 000 »	
k. Donation Schneider	Secours	100 512 »	
l. Don anonyme	—	6 750 »	
m. Don Normand	—	3 249,80	
n. Don Coiseau	—	11 250 »	
o. Legs Roy		873,50	
p. Legs de Hennaü		96 982,50	
q. Legs Huet		67 119 »	
r. Legs Mayer		13 612,50	
s. Legs Faliès		4 768,85	
t. Legs Meyer (nue propriété)		10 000 »	
u. Legs Hunebelle		29 976,35	
			524 982,90
2° Caisse : Solde disponible . . . . . Fr.			2 930,90
3° Débiteurs divers :			
Cotisations 1908 et années antérieures (après réduction d'évaluation) . . . . . Fr.		5 523,50	
Obligations, banquiers et comptes de dépôt		57 614,55	
Divers		4 947,75	
			68 085,80
4° Prix Henri Schneider 1917 . . . . . Fr.			30 547,55
5° Amortissement de l'Emprunt			5 500 »
6° Bibliothèque : Livres, catalogues, etc.			11 000 »
7° Immeuble :			
a. Terrain . . . . . Fr.		369 160,30	
b. Construction		477 892,12	
c. Installation		35 237,08	
d. Ameublement et Matériel		48 622,54	
			930 912,04
		Fr.	1 573 959,19

NOVEMBRE 1908

PASSIF

1° Créditeurs divers :

Impressions, planches, croquis, divers travaux en cours. Fr.	5 500 »	
Créditeurs divers	8 148,15	
		13 648,15

2° Prix divers 1908 et suivants :

a. Prix Annuel . . . Fr.	Mémoire	
b. Prix Nozo	820,80	
c. Prix Giffard 1911	1 257,60	
d. Prix Giffard 1908	3 000 »	
e. Prix Michel Alcan	275,35	
f. Prix François Coignet	311,90	
g. Prix Alphonse Couvreux	292,80	
h. Prix A. Gottschalk	900 »	
i. Prix G. Canet	4 831,85	
j. Prix H. Hersent	450 »	
k. Prix Moreaux	3 027,45	
l. Prix H. Chevalier	198,70	
		15 366,45
3° Prix Henri Schneider 1917 . . . Fr.		30 547,55
4° Emprunt		554 500 »
5° Tirage Obligations 1908		5 500 »

6° Coupons échus et à échoir :

N°s 14 à 19.	1er janvier 1903 à 1er juillet 1905 . . Fr.	813,10	
N° 20.	1er janvier 1906	239,20	
N° 21.	1er juillet 1906	259,10	
N° 22.	1er janvier 1907	380,95	
N° 23.	1er juillet 1907	973,75	
N° 24.	1er janvier 1908	893,95	
N° 25.	1er juillet 1908	2 306,05	
N° 26.	1er janvier 1909	11 110 »	
			16 976,10
7° Fonds de secours			10 323,25
		Fr.	646 861,50
Avoir de la Société			927 097,65
		Fr.	1 573 959,15

boursement annuel de 5500 f nous permettra, dans peu d'années, de porter à 7000 f le tirage annuel et successivement, par périodes rapprochées, de l'augmenter de telle sorte que nous pourrons amortir notre emprunt bien avant le délai de 75 ans prévu.

A ce propos, je crois devoir faire remarquer que, depuis 1902, date à laquelle a commencé le remboursement régulier de notre emprunt de 600 000 f, ce dernier, en sept ans, a été diminué de 35 500 f, soit une moyenne de plus de 5 000 f par an, au lieu de 3 000 prévus, sans préjudice du remboursement de la dette flottante qui s'élevait, fin 1900, à 75 000 f.

Le Compte *Tirage obligations 1908* est donc prévu pour 5 500 f.

Les *Coupons échus ou à échoir* présentent une légère augmentation provenant de ce que, malgré nos rappels, beaucoup de nos Collègues laissent accumuler les arrérages. Nous pensons cependant pouvoir, au cours de l'année, ramener au chiffre moyen de 15 000 f les sommes dues à ce Compte.

Le *Fonds de secours* présente cette année un solde créditeur plus élevé que celui de toutes les années précédentes, grâce aux dons généreux qui nous ont été faits au cours de l'exercice, parmi lesquels je tiens à citer plus particulièrement celui de 2 000 f fait par notre respecté doyen d'âge, M. Gaudry, auquel sont venus s'ajouter ceux de MM. Durenne, Grosdidier, Fatio, Montéro y Paullier, Terrail auxquels j'adresse en votre nom mes plus vifs remerciements. Grâce à ces dons, votre bureau a pu se montrer plus large dans la répartition des secours distribués qui se sont élevés cette année à plus de 7 000 f.

En résumé, alors que l'actif de notre Société était au 30 novembre 1907 de 925 785,29, il est au 30 novembre 1908 de 927 097,69, soit une augmentation de 1 312,40

C'est évidemment une faible augmentation, mais je dois vous signaler qu'au cours de l'exercice, en plus de l'amortissement régulier de notre Bibliothèque, nous avons dû faire face à des dépenses exceptionnelles assez considérables, et qui se sont élevées au total à la somme de 16 883,65 f, ainsi réparties :

Travaux de l'immeuble 7 862,65 (modification du chauffage de la grande salle, réfection partielle de cette dernière, honoraires, ravalement de la façade sur cour et petits travaux divers) ; 6 714,85 f pour les dépenses du soixantenaire, tant pour les impressions spéciales, que pour la frappe des médailles commémoratives, les circulaires, l'organisation des séances, le banquet et frais divers ; 1 096,35 pour les voyages effectués par la Société à Lens et au Lœtschberg ; 1 210 f pour une affaire litigieuse.

Si à ce chiffre de 16 883,85 f on ajoute celui de 1 312,40 représentant notre augmentation d'actif, nous obtenons une somme de 18 196,25 représentant l'excédent de l'année qui est du reste dans la bonne moyenne des résultats de nos exercices précédents.

A ce sujet, je crois devoir vous signaler comme je l'ai du reste fait assez fréquemment, que ces excédents annuels ne sont obtenus que grâce aux recettes supplémentaires que nous procurent tant nos annonces et encartages que les locations de salles.

Il est certain, en effet, que la valeur de la cotisation de chaque membre est absolument insuffisante pour faire face aux dépenses de la Société et qu'elle ne représente pas ce que nous coûte annuellement chaque membre.

J'insiste donc auprès de ceux de nos Collègues qui sont dans les Administrations ou Sociétés pour leur demander de tenir de préférence leurs réunions et Assemblées générales dans notre Immeuble, dont les salles et les dispositifs sont de nature à leur donner, croyons-nous, toute satisfaction et de nous réserver une certaine part dans le budget qu'ils peuvent, chaque année, consacrer à leur publicité, sous forme d'annonces ou d'encartages.

M. le Président demande si quelqu'un désire présenter des observations.

Personne ne demandant la parole, M. le Président met aux voix l'approbation des Comptes qui viennent d'être présentés.

Les Comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président dit qu'il est sûr d'être l'interprète des Membres de la Société en adressant de sincères félicitations à M. le Trésorier pour la façon claire et précise avec laquelle il a établi les comptes qui viennent d'être présentés.

Il le remercie pour les services dévoués et continus qu'il rend à la Société en surveillant ses intérêts.

M. le Président rappelle que, dans la présente Assemblée, il y a lieu de procéder, pour la septième fois, au tirage non plus de six, mais de onze obligations pour remboursement de l'emprunt de 1896.

Il demande à l'Assemblée de désigner, avec l'un des Secrétaires techniques, deux Scrutateurs pour procéder à ce tirage.

Sont désignés : MM. L. Lorin, L. Périssé, Membres du Comité, et Taupiat de Saint-Symeux, Secrétaire technique.

Le tirage est effectué dans une salle contiguë.

M. le Président donne connaissance des numéros des Obligations de l'emprunt qui viennent de sortir, et qui seront remboursables à partir du 1er janvier 1909.

Ces numéros sont les suivants : 83, 117, 306, 420, 427, 459, 610, 651, 726, 808, 1 147.

Puis il est procédé à l'élection des Membres du Bureau et du Comité à nommer en remplacement des Membres sortant fin 1908.

Ces élections ont donné les résultats suivants :

Vice-Président (devenant Président en 1910) : M. J. Bergeron.

Ire Section

Travaux publics et privés.

MM.	L. Chagnaud.	*Membre.*
	L.-A. Barbet.	—

IIe Section

Industrie des Transports.

MM.	E. Biard.	*Président.*
	G.-J. Hart.	*Membre.*
	J. Süss.	—

IIIe Section

Mécanique et ses applications.

MM.	A. Bougault.	*Membre.*
	P.-G. Eude.	—

IVe Section

Mines et Métallurgie.

MM.	L. Mercier.	*Président.*
	L. Fèvre.	*Membre.*
	E. Taragonet.	—

Ve Section

Physique et Chimie industrielles.

MM.	G. Fehrenbach.	*Membre.*
	Ch. Bardot.	—

VIe Section

Industries électriques.

MM.	E. Labour.	*Membre.*
	J. Grosselin.	—

La séance est levée à 11 h. 10 m.

L'un des Secrétaires techniques,

Taupiat de Saint-Symeux.

LA STÉRILISATION PAR L'OZONE
DES EAUX POTABLES
ET
LES CLARIFICATEURS AVEC DÉGROSSISSEURS BIOLOGIQUES

PAR

M. L. BORNE

Il y a bien peu de villes qui aient une distribution d'eau tout à fait satisfaisante et où l'on ne puisse critiquer soit la qualité soit la quantité des eaux distribuées. Presque partout il y a une question des eaux, sur laquelle on consulte les Ingénieurs (et c'est le plus souvent à la veille des changements de municipalités). Mais il est parfois bien difficilc de trouver et de faire adopter définitivement une solution ne chargeant pas trop lourdement les finances de la ville et donnant en même temps satisfaction aux désirs des commissions d'hygiène.

Il est peut-être intéressant d'exposer brièvement la solution qui vient d'être adoptée à Chartres pour améliorer un service d'eau existant.

Cette ville, qui distribue maintenant une eau très belle et irréprochable au point de vue bactériologique, n'a dépensé qu'une somme de 350 000 f pour une installation pouvant clarifier et stériliser 6 000 m^3 par jour.

I

Stérilisation des eaux de Chartres par l'ozone.

La ville de Chartres a 23 000 habitants et il ne semble pas que ce chiffre doive augmenter rapidement, car l'industrie y est peu développée. Depuis une cinquantaine d'années, on distribue aux habitants de l'eau puisée dans la rivière d'Eure. Cette eau est

trouble, assez chargée en matières organiques et on y trouve un très grand nombre de microbes pathogènes. Pourtant l'analyse chimique est bonne et la teneur hydrotimétrique ne dépasse pas 19 degrés.

Les habitants savaient que cette eau ne peut servir qu'aux lavages et jusqu'en 1907, on voyait chaque jour quelques tonneaux parcourir la ville et distribuer une eau d'une limpidité remarquable, une eau très belle, comme son nom d'ailleurs, l'eau de Luisant. Les apparences étaient, comme il arrive parfois, meilleures que la réalité, et l'eau de Luisant, qui émerge des calcaires était très fréquemment souillée de germes pathogènes.

En un mot, la ville de Chartres était encore en 1907 à l'âge des porteurs d'eau et l'eau ainsi distribuée n'était même pas de bonne qualité.

Après avoir étudié pendant de longues années les moyens d'amener des eaux de source ou d'installer des filtres à sable, la ville s'est décidée, sur le conseil du docteur Roux et du docteur Nocard, à conserver son installation élevant les eaux de l'Eure, mais en stérilisant ces eaux par l'ozone.

Aujourd'hui les travaux sont terminés et la question des eaux est résolue, comme cela résulte du rapport établi par le docteur Roux au nom de la Commission de contrôle et de réception des travaux.

Le 26 juillet 1908, l'eau de l'Eure contenait par centimètre cube 16 000 bactéries comprenant de nombreux bacilles du côlon. L'eau traitée par l'ozone ne contient plus aucune bactérie pathogène et, dans un centimètre cube, on trouvait tout au plus une bactérie inoffensive et à spores très résistants comme le *B. subtilis* ou le *B. mesantericus*.

Voici les résultats obtenus : les habitants de Chartres peuvent être satisfaits. Le traitement par l'ozone permet seul d'obtenir une stérilisation aussi complète.

Je ne décrirai que brièvement l'usine d'ozone qui a été installée par la Société générale de l'ozone, (procédé Otto et procédé Marmier et Abraham). Le sujet est pourtant très intéressant puisqu'il n'y a que quatre villes en France qui aient actuellement adopté ce procédé. Mais quelques-uns de nos collègues de la section d'électricité se réservent sans doute d'apporter à la Société le résultat de leurs travaux personnels.

Je dirai seulement que l'ozone est produit par l'effluve électrique jaillissant entre des électrodes métalliques creuses,

refroidies à l'intérieur par un courant d'eau et isolées les unes des autres par des plaques de glace parfaitement dressées.

On emploie le courant alternatif de 500 périodes 15000 volts environ, car c'est dans ces conditions, paraît-il, que l'effluve électrique produit la plus grande quantité d'ozone.

Les électrodes sont carrées et mesurent 0,50 m de côté; elles sont placées dans deux cages vitrées étanches, contenant chacune cinq électrodes positives et dix électrodes négatives. On compte que chaque cage peut produire par heure 50 à 60 m³ d'air ozoné à la teneur de 5 et 6 mg d'ozone par litre. Le poids d'ozone produit diminue, quand la concentration augmente ou quand la température s'élève.

Les électrodes négatives sont à la terre; elles sont reliées directement à la canalisation d'eau qui les refroidit.

Les électrodes positives sont aussi refroidies par un courant d'eau, mais cette eau est isolée électriquement de la canalisation: car elle tombe en pluie fine d'une hauteur d'environ 50 cm dans le réservoir qui alimente les électrodes. Le même dispositif est employé entre la sortie de l'ozoneur et l'écoulement à l'égout.

Un ventilateur système Roots, mu par un moteur électrique, chasse dans la cage de l'ozoneur un courant d'air préalablement desséché et refroidi. Cet air passe entre les électrodes se charge d'ozone et sort par un tube partant du centre des électrodes.

L'air ozoné est alors conduit par une canalisation en grès émaillé au bas d'une colonne de Gay-Lussac. Suivant le procédé Marmier et Abraham, cette colonne reçoit à la partie supérieure l'eau à traiter et la stérilisation se produit pendant que l'eau divisée en gouttelettes traverse le courant d'air ozoné.

La colonne de Chartres, qui peut recevoir 6000 m³ par jour, se compose de deux compartiments de 7 m de long sur 1,50 m de largeur et d'environ 6 m de hauteur.

Ces deux chambres sont remplies de silex concassé, sur 4,50 m de hauteur.

A Chartres, on emploie pour stériliser 1 m³ d'eau, environ 370 l d'air contenant 5 à 6 mg d'ozone par litre; soit une dépense supérieure à 2 g d'ozone par mètre cube d'air traité.

Il ne faut pas prendre ce chiffre de 2 g d'ozone par mètre cube d'eau comme une base invariable pouvant servir à la rédaction de tous les projets. La consommation d'ozone varie avec l'appareil employé pour le mélange de l'eau et de l'ozone.

D'autre part, la consommation d'ozone avec un appareil de

mélange déterminé varie suivant la qualité de l'eau à traiter et surtout suivant la teneur de cette eau en matières organiques.

A Chartres, l'eau contient 3 mg de matières organiques par litre et l'air envoyé dans la colonne est à la concentration de 5 à 6 mg par litre. A Saint-Maur, on a stérilisé avec la même proportion d'air, à une concentration de 4,1 mg, de l'eau contenant 1 mg de matières organiques (soit 1,74 g par mètre cube d'eau traitée).

Mais il serait prématuré de vouloir établir une formule donnant la quantité d'ozone à employer pour traiter une eau de composition donnée. Il faut faire des expériences directes, ou bien s'appuyer sur les résultats obtenus en traitant une eau de même composition.

Il est d'ailleurs prudent d'employer toujours une quantité d'ozone un peu supérieure à celle qui est strictement nécessaire, de manière à pouvoir remédier aux conséquences d'une contamination accidentelle, qui peut toujours se produire sans que l'usine en soit avertie.

Un léger excès d'ozone n'a d'ailleurs pas d'inconvénient, car ce gaz est très instable et après quelques minutes, on n'en trouve plus de trace dans l'eau traitée, comme l'a souvent constaté le docteur Miquel à Saint-Maur.

II.

Clarification des eaux de Chartres

Avant d'être traitée par l'ozone, l'eau de l'Eure passe dans une usine de clarification dont nous allons parler avec un peu plus de détails.

La stérilisation des eaux par l'ozone ne résolvait pas, en effet, la question d'une manière complète, ni aux yeux des habitants de Chartres, ni aux yeux de la Municipalité. Les habitants étaient habitués à boire l'eau très limpide de Luisant et ne pouvaient se résoudre à accepter l'eau de l'Eure, trouble, un peu limoneuse, et colorée légèrement en vert par des algues infiniment petites.

D'autre part, une épuration préalable permettait de simplifier le travail de stérilisation et, par suite, de réduire la quantité d'ozone dépensée, ce qui amenait une économie d'exploitation.

La ville de Chartres, sur la proposition du docteur Maunoury, rapporteur de la Commission des eaux, se mit d'accord, en principe, avec la Société Industrielle de l'ozone, qui exploitait alors les procédés Marmier et Abraham ; mais, avant de donner suite au projet, elle chargea le directeur des travaux municipaux, M. Desgorces, d'étudier complètement le problème de clarification des eaux.

M. Desgorces arriva à cette conclusion que, pour clarifier, il fallait produire une oxydation, et il eut l'idée d'utiliser, pour le traitement des eaux potables, les lits bactériens qui sont employés depuis quelques années pour l'épuration des eaux résiduaires.

L'appareil d'essai était composé de deux caisses remplies de coke et recevant alternativement, pendant deux ou trois heures, le courant d'eau à traiter. La caisse qui ne recevait pas d'eau était complètement vidée par des robinets de décharge, de manière à permettre à l'air atmosphérique de revivifier les bactéries aérobies qui venaient de travailler en exerçant leur action oxydante sur l'eau à traiter.

A la suite des deux bassins d'épuration biologique se trouvait une caisse d'environ un mètre carré et demi, chargée de sable de Loire et disposée pour permettre une filtration rapide, à la vitesse de 20 ou 24 m³ par jour et par mètre carré de surface filtrante.

Cette vitesse est dix fois plus grande que celle que l'on obtient avec les filtres à sable employés pour l'alimentation des villes. Il était donc indispensable d'avoir un moyen de nettoyage rapide.

En effet, les eaux de l'Eure sont souvent troubles ; mais même au moment où l'eau de rivière est le plus claire, elle contient de 1 à 2 mg de matière en suspension par litre. Ce chiffre se rapporte à l'Oise, à la Marne, à la Seine amont de Paris ; il est facile de calculer qu'une eau contenant 1 mg et demi par litre déposera en dix jours, sur un filtre fonctionnant à raison de 20 m³ par jour et par mètre carré, une couche de limon de 3 mm d'épaisseur, représentant un poids de 120 kg pour une installation comme celle de Chartres ; et remarquons bien que ce chiffre correspond à la période où les eaux sont très claires.

Pour se débarrasser de ces dépôts, on plaça dans le fond des bassins filtrants une grille formée de tubes perforés et recevant un courant d'eau et un courant d'air sous pression produit par

une trompe à vapeur. C'est un appareil recommandé par la maison Kœrting et qui est employé dans certaines tanneries. Nous croyons que la première application de ce système au nettoyage des filtres a été faite à Zurich. Il est facile alors de produire des courants ascendants qui brassent le sable et entraînent tous les dépôts vers un trop-plein placé à la partie supérieure du filtre.

Les résultats obtenus furent très satisfaisants. Pour pouvoir les noter et les vérifier, il fallait trouver une mesure de la limpidité de l'eau, car il était tout à fait impossible de se contenter des termes vagues d'eau limpide, assez limpide, passablement limpide.

M. Desgorces imagina l'appareil suivant : quatre tubes de 1 m de longueur, fermés par des disques en verre, sont placés verticalement au-dessus d'un miroir incliné à 45 degrés. On les remplit des eaux à comparer. Puis, en manœuvrant un robinet de décharge placé sur chaque tube, on vide lentement le tube contenant l'eau la plus trouble jusqu'à ce que deux tubes voisins présentent la même opacité, c'est-à-dire le même obstacle à la vision. On peut, d'ailleurs, faciliter la comparaison au moyen d'un prisme rapprochant deux images voisines.

Il est facile alors de définir le rapport de limpidité des eaux observées par le rapport des longueurs des colonnes d'eau qui restent dans les tubes.

Pour comparer les observations faites à des époques différentes, on peut essayer de créer une sorte d'étalon contenant, par exemple, de l'eau distillée et saturée d'air, dans un tube propre et parfaitement fermé.

C'est au moyen de ce limpiditomètre que l'on contrôle les résultats des appareils de Chartres. On se rend compte que l'on peut amener à une transparence très voisine de l'eau distillée (soit 100) des eaux ayant pour coefficients 20 ou 30, c'est-à-dire ayant, sous une épaisseur de 20 ou 30 cm, la même opacité que 1 m d'eau distillée. Le dégrossisseur biologique et le clarificateur contribuent à ce résultat d'une manière sensiblement équivalente.

L'ozone exerce aussi une action sensible. Par exemple, le docteur Roux a constaté en juillet qu'une eau brute, cotée 30, s'élevait à 60 après le dégrossisseur, à 90 après la clarification, et à 100 après le traitement à l'ozone, c'est-à-dire à la limpidité de l'eau distillée et aérée.

Dès qu'il eut construit cet appareil, M. Desgorces s'en servit

pour contrôler et pour régler son dégrossisseur biologique et son clarificateur. Il arriva bientôt à obtenir une eau parfaitement clarifiée, d'une limpidité aussi parfaite que celle de Luisant.

Le Conseil municipal, après avoir constaté le résultat, vota, sur la proposition du maire M. Fessard, l'exécution des travaux, suivant les projets de M. Desgorces.

La stérilisation des eaux fut confiée à la Compagnie générale de l'ozone, procédés Otto, Marmier et Abraham.

L'entreprise de clarification fut confiée à une Société qui s'engagea vis-à-vis de la ville à obtenir, pour une installation de 6 000 m^3 par jour, les mêmes résultats que sur la caisse d'essai. Les plans de détail, dressés par cette Société, dont fait partie l'auteur, furent soumis à M. Desgorces et approuvés par la ville.

Le plan d'ensemble de l'usine des eaux de Chartres est représenté par la figure 1. L'usine élévatoire comprend deux machines à vapeur à détente Corliss, avec pompes à double effet, à pistons plongeurs et clapets à ressorts extérieurs; c'est le type de la pompe Girard. Chaque machine a une force de 22 ch en eau élevée et peut monter, en tournant à 43 tours par minute, 135 m^3 d'eau à l'heure, à une hauteur de 42 m. Une machine de réserve complète l'installation.

En arrière de la salle des pompes sont les chaudières, le logement du mécanicien et le parc à charbon.

Dans le prolongement des pompes, on a installé deux groupes (dont un de rechange) composés chacun d'un moteur vertical Delaunay-Belleville, de 40 ch, actionnant à la fois, par l'intermédiaire de courroies, une pompe centrifuge élevant l'eau à l'usine de clarification et un alternateur donnant du courant alternatif, 500 périodes, 140 volts, 180 ampères et tournant à 1 500 tours.

A proximité des dynamos se trouvent les cages de l'ozoneur, avec un transformateur portant le courant à environ 15 000 volts.

En arrière de l'ozoneur se trouve la colonne de Gay Lussac, où se fait la stérilisation.

Dans un angle de l'usine se voit le tableau de distribution, où sont réunis les appareils de commande des dynamos et ceux qui permettent de contrôler la quantité d'eau traitée.

Un robinet placé sur la conduite de refoulement des pompes centrifuges permet de régler la quantité d'eau envoyée à la clarification. Cette quantité est indiquée par un tube de Pitot. L'eau stérilisée qui sort de la colonne passe par un déversoir

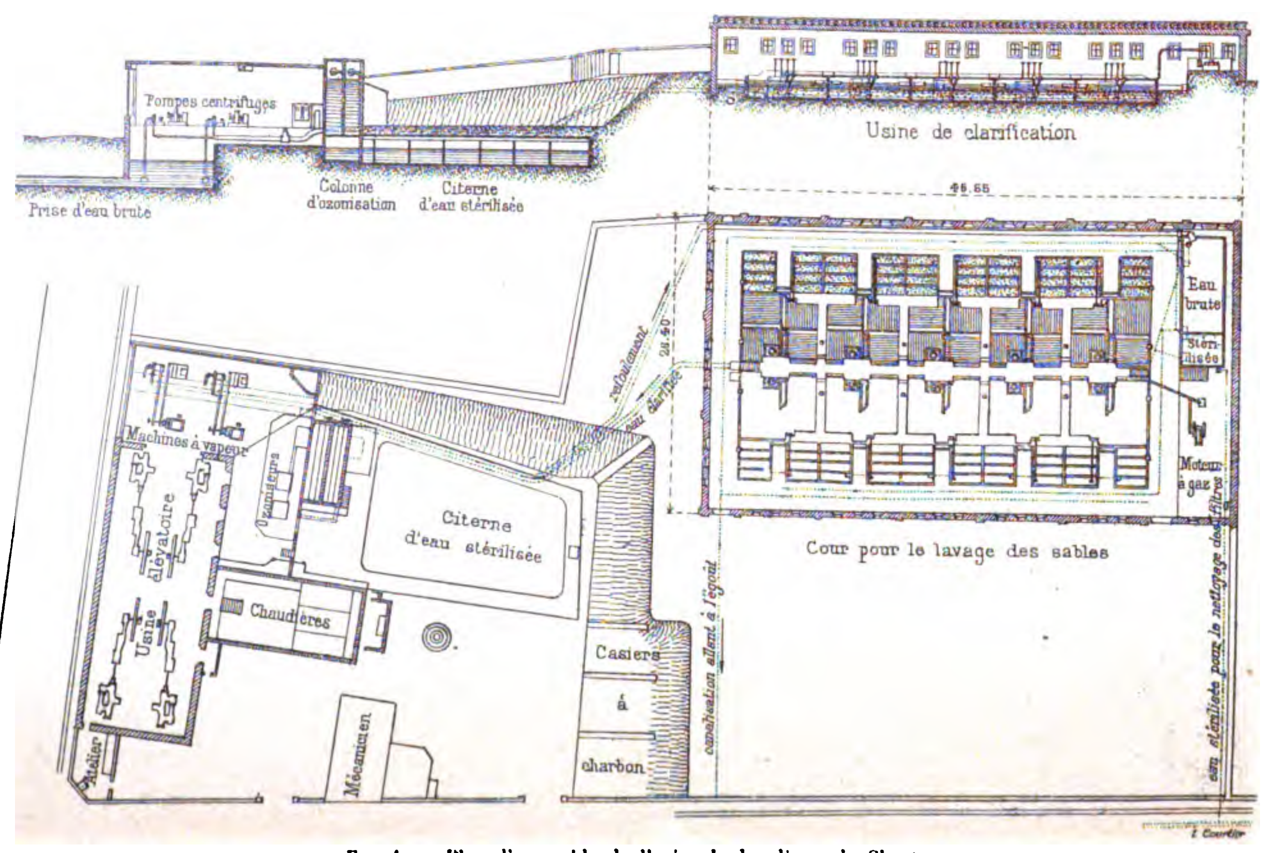


FIG. 1. — Plan d'ensemble de l'usine hydraulique de Chartres.

parfaitement horizontal, et la hauteur d'eau sur ce déversoir, c'est-à-dire la quantité d'eau stérilisée, est enregistrée par un appareil Richard.

L'air envoyé dans la colonne est mesuré, avant son passage dans l'ozoneur, par un compteur enregistreur système Richard. Des indicateurs manométriques, gradués empiriquement d'après la perte de charge produite par un diaphragme, donnent la quantité d'air ozoné envoyée dans chacun des compartiments de la colonne.

L'installation est complétée par un laboratoire de contrôle avec autoclave et étuve à culture. Le mécanicien mesure plusieurs fois par jour la teneur en ozone de l'air envoyé dans la colonne, ce qui se fait très simplement par la décomposition d'une solution titrée d'iodure de potassium.

Sur le plan d'ensemble, on voit aussi une citerne d'environ 700 m³ recevant l'eau stérilisée. Le plus souvent, il ne sera pas utile de construire une citerne semblable. On a dû prendre cette solution à Chartres parce que les réservoirs de distribution de la ville ont un volume très faible et que les machines élévatoires doivent fonctionner en suivant de très près les besoins de la consommation.

La figure 1 montre aussi le plan de l'usine de clarification.

L'eau refoulée par la pompe centrifuge arrive au réservoir d'eau brute placé à la partie droite du plan. De là, elle alimente par deux conduites de 250 mm dix clarificateurs mesurant chacun 40 m² de surface utile.

La clarification se fait sur des couches de sable ayant la com position suivante :

12 cm	de gros gravier de Seine	passant à l'anneau de	20 mm
14 —	de gravier plus fin	—	10 —
14 —	—	—	6 —
10 —	de gravier de Loire	—	3 —
50 —	de sable fin de Loire.		

Total de l'épaisseur de la couche clarifiante, 1 m ; charge d'eau au-dessus du sable, 45 cm.

En avant de chaque clarificateur se trouvent deux dégrossisseurs biologiques remplis de coke et travaillant alternativement.

Entre les dix clarificateurs passe un canal recevant l'eau clarifiée. Au-dessus de ce canal se trouve une passerelle d'où se font toutes les manœuvres de nettoyage.

Si nous examinons maintenant le détail d'un clarificateur

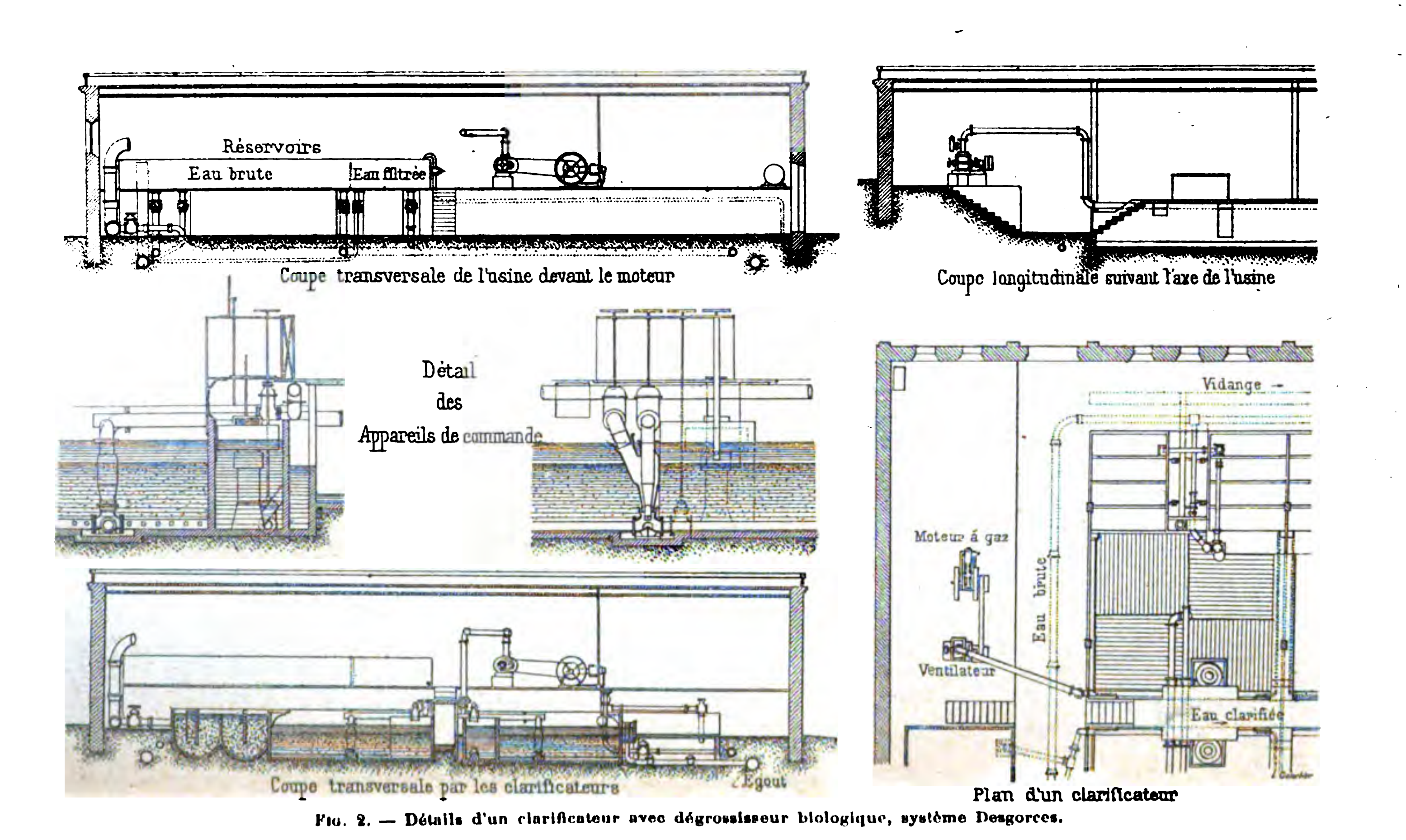


Fig. 2. — Détails d'un clarificateur avec dégrossisseur biologique, système Desgorces.

(*fig. 2*), nous voyons que l'eau qui a traversé les couches de sable est recueillie par une grille composée de tubes en fer percé de trous assez rapprochés.

Cette grille se raccorde sur deux tuyaux collecteurs des 125 mm de diamètre, formant croix. Une branche de la croix conduit, par l'intermédiaire d'un robinet, l'eau filtrée dans le regard de départ.

Pour nettoyer le clarificateur, on ferme le robinet de départ et on envoie de l'air comprimé et de l'eau sous pression dans un appareil mélangeur placé au centre de la croix.

L'eau de nettoyage est déjà stérilisée ; elle provient des conduits de la ville ; l'air comprimé est produit par un ventilateur Roots actionné par une machine à gaz. Les deux conduites de nettoyage (air et eau) sont posées sur les côtés de la passerelle de manœuvre.

Sous l'action de ce double courant d'air et d'eau, les matières déposées sur le sable remontent à la surface du clarificateur. Pour faciliter l'écoulement de cette eau salie, on abaisse le plan d'eau jusqu'à un large déversoir et on fait arriver à la surface du clarificateur des courants d'eau dégrossie repoussant toutes les impuretés du côté de ce déversoir.

Contrairement à ce qu'on pourrait supposer, le nettoyage se fait très facilement, même quand les eaux sont troubles ; ainsi en période de crue, il suffit de nettoyer les clarificateurs une fois par jour. En moyenne, l'opération dure une demi-heure. On dépense pour un bassin produisant 600 m^3 d'eau par jour, 150 m^3 d'air et 15 m^3 d'eau, dont un tiers d'eau stérilisée.

Ce nettoyage est très efficace et il est facile de se rendre compte, à Chartres, que le sable en service est aussi propre qu'au moment où il a été mis en place il y a dix mois.

III

Prix de revient. — Avantages du traitement par l'ozone.

On voit que les clarificateurs de Chartres présentent des avantages sérieux. Sans vouloir le moins du monde contester les mérites des autres procédés, on peut penser que ces appareils seront souvent adoptés pour commencer le traitement des eaux.

En effet, le nettoyage est très efficace; il se fait mécaniquement et à peu de frais. Cette qualité est très importante, car le nettoyage est essentiel dans une installation d'épuration et on a pu dire avec raison que « préfiltrer c'est nettoyer ». Par leurs dégrossisseurs biologiques les clarificateurs exercent une action oxydante, c'est-à-dire une action épuratrice, comme le montrent les analyses du Dr Roux: les huit dixièmes des colonies bactériennes sont arrêtées par les clarificateurs avec dégrossisseurs.

Le filtre à sable ordinairement employé exerce seulement une action séparatrice d'ordre physique; il arrête toutes les matières en suspension, matières mortes ou matières vivantes, qui ont des dimensions supérieures aux vides de la membrane filtrante. Il traite donc de la même manière les bactéries d'espèces différentes, puisqu'il n'y a pas de différence sensible entre leurs dimensions. Au contraire, un appareil ayant une action oxydante agit différemment sur les bacilles d'après leurs conditions de vitalité.

Aussi est-il intéressant de comparer les appareils de Chartres avec les filtres non submergés que le docteur Miquel préconise, et qui ont été adoptés par la ville de Châteaudun. Ces filtres fonctionnent à faible vitesse, et l'eau qu'ils produisent est livrée directement à la consommation.

Les filtres sont composés d'une masse de sable arrosée par une pluie fine d'eau à épurer. Le sable doit absorber immédiatement l'eau qui tombe, sans laisser se former de mares, de manière que la couche filtrante reste perméable en même temps à l'air et à l'eau. Cette installation est donc un peu analogue à celle des Sprinklers Adam, qui sont employés aussi à l'épuration des eaux résiduaires.

L'appareil de Chartres réalise la même idée d'épuration biologique sous une autre forme : dans les deux cas, la filtration se fait par oxydation et la membrane filtrante est supprimée.

Le système de filtration actuellement employé repose uniquement sur la présence de cette membrane. Mais, « avant que cette couche soit formée, le filtre n'existe pas; quand la couche, devenue trop épaisse, cesse d'être perméable, le filtre n'existe plus. » (Rapport de M. Marchadier.)

Tout l'art de la filtration consiste à provoquer rapidement la formation de cette membrane (procédé Anderson, par le fer), puis à empêcher que le filtre ne se colmate trop rapidement (dégrossisseurs Puech et préfiltres rapides). Quand la résistance

du filtre change par l'épaississement de la membrane, il faut augmenter la pression de l'eau sur le sable, ce qui force à construire des bassins assez profonds (c'est-à-dire à augmenter leur prix de revient) et à installer des régulateurs coûteux et délicats.

Il faut de plus surveiller constamment cette membrane, éviter qu'elle ne se déchire, soit par un affouillement du sable, soit au moment où l'on brise la glace, soit encore, quand l'on retire les algues qui se forment pendant l'été. Et malgré toutes ces précautions, le résultat obtenu n'est jamais satisfaisant : quel que soient l'ingéniosité des dispositions et le soin apporté à la surveillance du fonctionnement, les bactéries pathogènes ne sont pas complètement arrêtées, parce que le filtre n'exerce qu'une action physique.

Il y a quelque temps, un membre du Conseil d'hygiène visitait les clarificateurs de Chartres et, en voyant bouillonner toute leur surface sous le courant d'air comprimé, il disait plaisamment : « C'est la valse de la membrane filtrante ».

Si la membrane filtrante saute, il ne faudra pas trop la regretter, car elle ne peut donner qu'une sécurité incomplète et parfois trompeuse. En la supprimant dans les appareils de Chartres, qui n'ont pour but que de préparer le traitement des eaux, on a obtenu une grande simplification de manœuvre. Le nettoyage se fait mécnniquement, d'une façon aussi simple qu'économique, et il n'y a plus besoin de régulateur de débit, puisqu'il suffit d'ouvrir le robinet d'amenée d'eau de la quantité correspondant au volume d'eau que l'on veut clarifier.

Il paraît utile de traiter plus complètement l'étude comparative entre les procédés de filtration sur sable et de stérilisation par l'ozone.

Quand l'eau a été préparée par des dégrossisseurs ou par des clarificateurs, faut-il achever son traitement sur des filtres à sable ou bien faut-il la stériliser par l'ozone comme on a fait à Chartres? Quels sont les prix comparés des deux systèmes? Quels sont les résultats?

Prix de premier établissement.

Voici d'abord quelques chiffres relatifs aux installations de clarification et de stérilisation de Chartres.

L'usine de Chartres donnant 6000 m³ par jour a coûté 90000 f

pour la construction des bassins et toutes leurs canalisations, y compris les appareils de nettoyage. La dépense de premier établissement ressort à 15 f par mètre cube d'eau traitée par jour. Aussi a-t-il été possible de couvrir les filtres par un bâtiment industriel avec terrasse en ciment armé. On évite ainsi les inconvénients du traitement de l'eau à l'air libre ; gelée, échauffement pendant l'été, contamination par les poussières, formation d'algues, etc. En y comprenant le bâtiment la dépense s'élève à 150 000 f soit 25 f par mètre cube quotidien d'eau clarifiée.

L'installation de l'ozone, y compris les deux groupes moteurs (dont un de réchange) et la construction de la colonne de stérilisation monte à environ 110 000 f.

Enfin la dépense totale de l'opération ne dépasse pas 350 000 f, y compris les achats de terrain, la construction de l'usine électrique et les canalisations reliant les deux usines. Nous laissons en dehors de ce chiffre, comme nous l'avons dit plus haut, les frais de construction d'une citerne de 700 m³ nécessités par le régime tout spécial des eaux de Chartres. Les frais de premier établissement se sont donc élevés, tout compris, à 60 f par mètre cube d'eau traitée par jour, ou en laissant de côté les achats de terrain, à 50 f, clarification et ozonisation comprises pour une installation de 6 000 m³ par jour. Ce prix de 50 f se décompose ainsi : 25 f pour la clarification, 20 f pour l'ozone et 5 f pour l'usine électrique et les canalisations entre les deux usines.

Examinons maintenant le prix de revient des installations où le traitement de l'eau est achevé par la filtration.

Des renseignements qui se trouvent dans le dossier des filtres de Chartres, il résulte qu'une installation comprenant : dégrossisseurs, préfiltres rapides et filtre à sable, aurait entraîné une augmentation de dépense d'au moins 20 0/0. Et encore aurait-il fallu que l'on trouvât un terrain suffisant pour installer les 3 500 m de bassin qui auraient été nécessaires en y comprenant les réserves pour le nettoyage.

Récemment on a fait au Mans et à Suresnes deux installations très complètes de filtration sur sable. Il semble qu'à Suresnes, on ait dépensé 2 millions pour filtrer 30 000 m³ d'eau par jour et la proportion paraît à peu près la même au Mans.

Mais voici un chiffre précis, la ville de Paris a installé en 1907, à Ivry, sur des terrains lui appartenant, de nouveaux bassins filtrants pouvant donner 20 000 m³ par jour. La construction des

bassins a coûté 1 508 494 f et leur aménagement 139 036 f, ce qui représente une dépense d'environ 80 f par mètre cube d'eau traitée par jour. Ce prix ne comprend pas l'agrandissement de l'usine (467 278 f) les moteurs, pompes et générateurs (415 900 f).

La ville de Paris a adopté pour le fonctionnement de l'usine d'Ivry une vitesse de filtration de 2,40 m par jour ; c'est à cette vitesse que correspond le débit de 20 000 m³ et le prix de 80 f d'installation pour traiter 1 m³ par jour. On pourrait objecter que certaines communes de la banlieue de Paris ont adopté pour leurs filtres une vitesse de 3,75 m et en conclure que si l'usine d'Ivry fonctionnait dans ces conditions, le débit s'élèverait à 30 000 m³ par jour et que le prix de premier établissement deviendrait 50 f par mètre cube d'eau filtrée, non compris l'acquisition des terrains. Mais nous croyons qu'il vaut mieux conserver la vitesse de 2,40 m qui a été adoptée par la Ville après des expériences comparatives, comme étant celle qui présente le plus de garantie.

Nous retiendrons donc le prix de 80 f par mètre d'eau traitée pour le comparer au prix de 50 f obtenu à Chartres pour une installation trois fois moins puissante. Nous ferons observer de plus que les clarificateurs de Chartres sont couverts, que les filtres d'Ivry ne sont pas abrités et enfin qu'il faut acheter quatre fois plus de terrain (non prévu dans les chiffres ci-dessus) pour installer des filtres, que pour clarifier et stériliser par l'ozone.

Nous pouvons donc conclure d'une manière générale, en ce qui concerne les frais de premier établissement, qu'il sera presque toujours beaucoup plus coûteux d'installer des filtres à sable que de construire des usines de clarification et stérilisation par l'ozone. Les villes hésiteront rarement entre les deux solutions quand elles trouveront à la fois, en adoptant l'ozone, une économie d'installation et des résultats tout à fait satisfaisants au point de vue de l'hygiène et de la santé publique.

Mais dans certains cas, l'économie peut être encore bien plus considérable. Il arrive souvent que les eaux sont suffisamment limpides et assez peu chargées en matières organiques insolubles pour qu'une clarification préalable soit inutile.

Nous citerons l'exemple de la Ville de Nice qui a fait installer suivant les procédés Otto, une usine pouvant traiter 22 500 m par jour — moyennant le prix forfaitaire maximum de 240 835 f. Cela représente une dépense de premier établissement d'environ

11 f par mètre cube d'eau traitée journellement. Il faut dire qu'il n'y a ni moteurs à vapeur ni pompes et que l'usine reçoit de l'extérieur le courant électrique. A Chartres, l'installation seule des appareils d'ozonisation pour 6000 m³ avec moteurs à vapeur, pompe et dynamo, a coûté, y compris un groupe moteur de réserve revient à 20 f par mètre cube d'eau traitée journellement. On doit pouvoir obtenir des prix analogues toutes les fois qu'il n'y a pas besoin de clarifier les eaux et que les appareils de traitement par l'ozone peuvent être installés dans une annexe de l'usine élevatoire.

PRIX D'EXPLOITATION.

Voici maintenant quelques indications sur le prix d'exploitation c'est-à-dire sur le prix de revient, de 1 m³ d'eau traitée.

La filtration est sensiblement plus économique que le traitement par l'ozone; il semble que l'on puisse compter en moyenne, pour une installation d'environ 10 000 m³ par jour sur une dépense de un tiers de centime par mètre cube d'eau traitée pour entretien et nettoyage des filtres à sable. Les pompes spéciales relevant l'eau sur les filtres et les frais divers entraînent une dépense d'environ un quart de centime, chiffre moyen bien entendu.

Restent les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital, frais qu'une ville ne compte pas, mais qui sont très lourds, pour une société financière, surtout si elle a une concession de faible durée.

Si on a dépensé comme frais de premier établissement la somme très réduite de 25 f par mètre cube traité par jour, l'amortissement en quarante ans avec intérêt à 5 0/0 s'élèvera à 0,42 centime.

En y ajoutant les chiffres proposés plus haut pour le nettoyage des filtres et le relèvement des eaux, on arrive à une dépense brute de 1 centime.

Avec une installation comme celle d'Ivry, le prix de revient brut serait de 1,50 centime environ, si la vitesse adoptée était de 3,75 m et de 1,80 centime si la vitesse était de 2,40 m. Ce prix de 18 millimes comprend 3 millimes d'entretien, 2 millimes de relèvement des eaux et 13 millimes d'amortissement, l'acquisition du terrain n'étant pas comprise dans la dépense.

Il est relativement facile d'estimer le prix de revient de la stérilisation par l'ozone.

La Ville de Paris a fait l'année dernière, à Saint-Maur, un concours d'épuration des eaux potables et a surveillé la marche des appareils pendant plusieurs périodes de dix jours. Les rapports de M. Miquel, de M. Albert Lévy et de M. Colmet Daage, Ingénieur en chef des eaux donnent les renseignements les plus complets sur les dépenses d'ozone et d'électricité nécessaires pour traiter l'eau de la Marne, filtrée, dégrossie ou non filtrée.

Il résulte de ces expériences qu'on peut traiter efficacement par l'ozone, de l'eau dégrossie sur les filtres à sable existants, avec une dépense moyenne légèrement inférieure à un centime (0,96 c) non compris l'amortissement et l'entretien des appareils.

Voici la décomposition de ce prix de revient pour un débit de 300 m³ à l'heure, 7200 m³ par jour, très voisin, par conséquent, du débit de Chartres. L'eau traitée contient 1 mg à 1,07 mg de matières organiques par litre. Les appareils employés étaient ceux de la Compagnie générale de l'ozone.

Pour les ozoneurs 0,445 kw à 5,5 c le kilowatt	0,0025 f
Pour l'eau de refroidissement à 0,017 c le mètre cube	0,0001 f
Personnel deux hommes à 0,70 f l'heure chacun . . .	0,0050 f
Pour élever l'eau à 10 m de hauteur	0,0020 f
	0,0096 f

Cette hauteur de 10 m était nécessaire parce que l'on employait à la fois l'émulseur Otto et la colonne Marmier et Abraham.

D'autres appareils essayés en même temps à Saint-Maur ont donné des résultats beaucoup moins bons. Mais il paraîtrait que des expériences récentes, faites sur ces appareils modifiés, ont donné un prix de revient, en partie observé, en partie calculé, voisin de 75 dix-millimes, non compris l'entretien des appareils.

On peut donc admettre que le prix d'exploitation, compris entretien, ne doit pas dépasser 1 centime pour une eau contenant de 1 milligramme à 1 milligramme 07 de matières organiques.

Il faut y ajouter les charges financières : supposons qu'on veuille amortir en 40 ans une installation ayant coûté, comme celle de Chartres, 350000 f pour 6000 m³ journaliers ; il faudra prévoir un peu moins de 0,82 cm par mètre cube dont la moitié

à peu près pour la clarification et le prix de revient brut sera donné approximativement par le tableau suivant :

Clarification.

Relèvement à 3 m et divers	0,0014	f environ.
Nettoyage (prix provisoire maximum). . .	0,0025	—
Amortissement	0,0041	—
TOTAL.	0,0080	f environ.

Stérilisation.

Exploitation (compris entretien des appareils)	0,0100	f environ.
Amortissement de l'installation.	0,0031	—
— des bâtiments.	0,0011	—
TOTAL.	0,0142	f environ.

Soit en chiffres ronds 0,8 cm + 1,4 cm = 2,2 cm.

Le prix de revient de l'eau clarifiée et stérilisée sera ainsi d'environ 22 millimes, comprenant 8 millimes pour la clarification et 14 millimes pour la stérilisation.

Notons le prix de 13 millimes (10 millimes exploitation + 3 millimes amortissement) qui représente le prix de revient de l'eau stérilisée, quand cette eau n'a pas besoin d'être clarifiée et quand l'usine d'ozone est simplement installée dans une annexe existante de l'usine élévatoire.

En résumé, avec un amortissement à 5 0/0 en 40 ans, avec de l'eau ne contenant pas plus de 1 milligramme de matières organiques par litre, le prix de revient, pour une installation de 6 à 7 000 m³ par jour, doit osciller en moyenne entre 25 millimes et 13 millimes pour de l'eau stérilisée, suivant que cette eau a besoin ou non d'être clarifiée.

Rappelons que le prix de revient de l'eau filtrée, c'est-à-dire toujours clarifiée mais jamais stérilisée, oscille entre 1 centime 1/2 et 1 centime.

Conclusion.

Les installations de stérilisation par l'ozone, qui donnent seules une eau bactériologiquement pure, coûtent généralement moins cher de premier établissement que les installations de filtres à sable, établis avec les perfectionnements modernes et traitant l'eau avec une vitesse modérée.

Les frais d'exploitation sont sensiblement les mêmes quand on veut filtrer une eau qui n'a pas besoin d'être clarifiée et qui contient peu de matières organiques en suspension. Mais les frais d'exploitation sont plus élevés quand on traite par l'ozone des eaux qui ont besoin d'une clarification préalable.

Cette majoration de prix d'exploitation ne peut dispenser les municipalités du devoir qu'elles ont de distribuer de l'eau ne contenant pas de bactéries pathogènes, car on peut dire que le premier des droits de l'homme est de boire une eau salubre ne pouvant déterminer de maladies épidémiques.

Il est certain que l'eau filtrée sur le sable ne présente pas de garanties suffisantes. Les analyses régulièrement effectuées par le laboratoire municipal de Montsouris, établissent que les eaux filtrées à Neuilly et à Choisy-le-Roi, contiennent en moyenne 375 bactéries par centimètre cube et le tableau des expériences de Saint-Maur prouve qu'il y a toujours parmi ces bactéries des espèces pathogènes.

Le Conseil municipal de Paris ne cherche pas d'aillleurs à se soustraire à ses obligations. Il a reconnu à plusieurs reprises l'utilité de stériliser les eaux destinées au service privé. Ces travaux correspondant à l'emprunt de 31 millions autorisé en 1907, seront terminés vers la fin de 1909. Ils comprennent une somme importante pour la stérilisation des eaux de rivière et l'emprunt de 115 millions qui est actuellement projeté par la Ville prévoit les sommes nécessaires pour l'achèvement de l'opération et son extension à une partie des eaux de source.

Il ne faut pas croire, en effet, qu'il suffira de stériliser les eaux de rivières. Certaines eaux de source sont tout aussi dangereuses. Il suffit pour s'en convaincre de consulter les tableaux qui paraissent toutes les semaines au bulletin municipal.

Les eaux de la Dhuys, celles du Loing et du Lunain, sont généralement bonnes; celles de l'Avre sont quelquefois contaminées;

mais les eaux de la Vanne, qui alimentent la moitié de Paris, sont toujours suspectes. Ainsi les eaux du groupe d'Armentières contiennent en moyenne de 25 à 100 bacilles du côlon dans 100 centimètres cubes d'eau.

Dans les deux tiers des autres émergences de la Vanne, on trouve en moyenne de 10 à 50 bacilles coli dans la même quantité d'eau, et, quand une eau contient les bacilles coli, elle peut propager le choléra et la fièvre typhoïde. Il suffit de comparer les renseignements que publie le Bulletin municipal avec les travaux des bactériologistes pour se rendre compte des dangers que peut courir la population parisienne en cas d'épidémies. Tant que les travaux projetés ne seront pas achevés, nous serons sans doute encore forcés de « faire bouillir notre eau », suivant la formule que nous connaissons tous depuis bien longtemps, et qui donne il faut le dire, bien peu de sécurité; la situation est la même dans bien des villes de province.

Nous souhaiterions que cette communication attire l'attention des membres de la Société sur les nouveaux moyens dont ils disposent pour stériliser les eaux d'alimentation des villes. La discussion des procédés de stérilisation et de leurs prix de revient, est entièrement du domaine de l'ingénieur, et ces questions ont une importance particulière par les conséquences qu'elles peuvent avoir sur l'hygiène et sur la santé publique.

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

PAR

LE PROCÉDÉ BIOLOGIQUE INTENSIF

SA COMPARAISON AVEC L'ÉPANDAGE

PAR

M. B. BEZAULT

AVANT-PROPOS

On admet difficilement que de graves conséquences peuvent résulter de la pollution des nappes d'eau et de la contamination de l'air ambiant par les déchets de la vie.

En pratiquant le « tout à la rivière ou aux champs », les municipalités et agglomérations diverses croient, la plupart du temps, avoir pris des mesures suffisantes pour assurer la salubrité publique.

Il semble qu'on veuille, avec une certaine complaisance, ignorer le sort des résidus de la vie, *dès l'instant que de n'importe quelle façon ils sont évacués de l'habitation*. On se contente de déplacer le foyer d'infection. Nous supportons facilement la pollution toujours croissante de nos rivières, à tel point que les poissons ne peuvent plus vivre dans un grand nombre d'entre elles; les pêcheurs à la ligne sont presque les seuls à se plaindre.

Beaucoup de villes ont des règlements assez rigoureux en ce qui concerne la salubrité des maisons et à côté de cela, des règlements d'hygiène générale souvent incomplets et surtout bien peu observés. Les travaux de voirie sont insuffisants et les réseaux d'égouts des plus rudimentaires, de sorte que les sous-sols de ces villes sont infectés de plus en plus.

En résumé, on ne se rend pas compte que l'hygiène individuelle est illusoire si des mesures de prophylaxie générale n'assurent pas à la ville elle-même et à ses environs, de bonnes conditions hygiéniques.

La routine et les préjugés aidant, le besoin d'épurer les eaux d'égout n'est pas encore entré dans nos mœurs; les résultats n'étant pas assez tangibles, le contribuable les admet difficilement.

Enfin, si nous sommes en retard, il faut bien avouer que cela tient aussi à d'autres causes : les systèmes proposés n'ont pas toujours donné de bons résultats pratiques; nos connaissances sur la question sont assez restreintes. Et puis, il arrive parfois que les autorités administratives ont de telles exigences pour la construction et le fonctionnement des installations d'épuration que les intéressés préfèrent s'abstenir.

EXPOSÉ GÉNÉRAL

Procédé de l'épandage.

Avant de décrire le procédé d'épuration biologique intensive, je rappellerai, en quelques mots, les procédés employés précédemment.

Le plus ancien est celui de l'épandage ou irrigation sur le sol qui nécessite des surfaces de terrain considérables; nous y reviendrons dans un instant pour la comparaison avec la méthode intensive.

Précipitation chimique.

Puis on a employé, pour la première fois, il y a une cinquantaine d'années, la précipitation chimique. Ce système a d'abord été utilisé pour des eaux résiduaires industrielles et ensuite appliqué dans certaines villes à l'épuration des eaux d'égout.

L'emploi de ce système nécessite l'exécution de bassins divers, pour le mélange et la décantation, des appareils de broyage et d'enlèvement des boues, etc., c'est-à-dire des frais de premier établissement assez importants. Quant aux frais d'exploitation, ils sont aussi très élevés, comme on peut le concevoir, par la dépense journalière du réactif et par la main-d'œuvre occasionnée par les diverses manipulations *(fig. 1, Pl. 176)*.

La vente, comme engrais, des tourteaux faits avec les boues, n'est jamais rémunératrice; cela est si vrai, qu'une ville importante comme Londres, qui produit des millions de mètres cubes

de boues par jour, trouve plus avantageux de les rejeter au loin en mer.

C'est un procédé qui n'est recommandable, à mon avis, que dans des cas absolument spéciaux, quand, par exemple, les eaux contiennent, en trop grande proportion, des matières grasses, des acides, des antiseptiques, etc.

Les réactifs les plus employés sont : la chaux, les sulfates de fer, de *zinc*, *d'alumine*, les permanganates, etc.

Épuration biologique intensive par fosses septiques et filtres bactériens.

Tout d'abord, je rappellerai brièvement les expériences qui ont permis d'en établir les bases scientifiques.

En 1899, le Bureau d'hygiène du *Massachusetts* commença une série d'études approfondies sur l'épuration des eaux d'égout par des filtres *préparés artificiellement*. Ces études ont prouvé, d'une manière indiscutable, que le travail d'oxydation et de minéralisation de la matière organique était bien dû à des microbes.

Vers 1892, M. Dibdin, chimiste conseil de la ville de Londres,

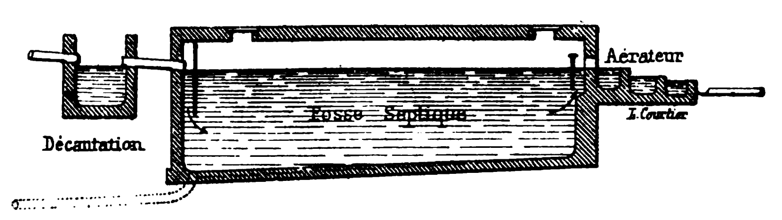


Fig. 1. — « Septic-tank » de Cameron.

construisit les premiers filtres bactériens à *Barking*, puis à *Sutton*, où l'installation comportait deux séries successives de filtres garnis de mâchefer, de coke et de cassons de briques.

Ces filtres, comme ceux du Massachusetts, furent vite colmatés, engorgés par les matières organiques non solubilisées, ce qui rendait le système impraticable.

C'est alors que l'Ingénieur de la ville *d'Exeter*, *M. Donald Cameron*, eut l'idée de faire subir aux eaux d'égout, un traitement préalable par fermentation anaérobie. C'était la première application du *Septic tank* ou fosse septique *(fig. 1)*.

L'épuration biologique intensive comprenait, dès ce moment, deux phases; la première consistant à solubiliser la matière organique par putréfaction, la seconde à la minéraliser par voie d'oxydation et de nitrification.

Mais, en vérité, le principe même de l'épuration biologique repose surtout sur les théories de la fermentation si bien établies, dès 1861, par *Pasteur*, et sur celles de la nitrification dont *Schloesing et Muntz* ont découvert les ferments (nitreux et nitriques) en 1877.

En somme, les Anglais, gens pratiques par excellence, ont su utiliser et bénéficier avant nous des découvertes de nos savants.

Certains hygiénistes français, animés d'un bon sentiment, prétendent bien que l'origine de la fosse septique est due à la vidangeuse automatique inventée par Mouras en 1881, mais c'est une affirmation sans base scientifique; le fonctionnement d'un *Septic tank* sur certains points est diamétralement opposé à celui de la vidangeuse de Mouras. Il serait certainement préférable d'en attribuer le mérite initial à Pasteur.

Description d'une installation schématique.

Le procédé d'épuration biologique intensif comporte pratiquement trois phases bien distinctes *(fig. 2)* :

1° La décantation ou séparation par voie mécanique des matières lourdes et grosses matières flottantes;

2° La solubilisation des matières organiques par fermentation et putréfaction;

3° La minéralisation des matières organiques dissoutes par oxydation et nitrification.

Pour assurer la bonne exécution de ces trois phases de l'opération, toute installation doit comporter :

a) Un bassin de décantation ou chambre à sable;

b) Une fosse septique pour la solubilisation;

c) Un filtre bactérien pour l'oxydation.

Le bassin de décantation peut comprendre des dispositifs divers, suivant la nature des eaux à traiter, suivant la nécessité de retirer des liquides une plus ou moins grande quantité de matières en suspension.

La fosse septique est constituée par un réservoir étanche, de préférence rectangulaire, d'une capacité liquide environ égale

au volume journalier à traiter et sur une profondeur moyenne de 3 m.

Le filtre bactérien est formé par un bassin étanche, dans lequel sont disposés, par couches superposées, les supports d'oxydation, c'est-à-dire les matériaux filtrants formant l'habitat des bacté-

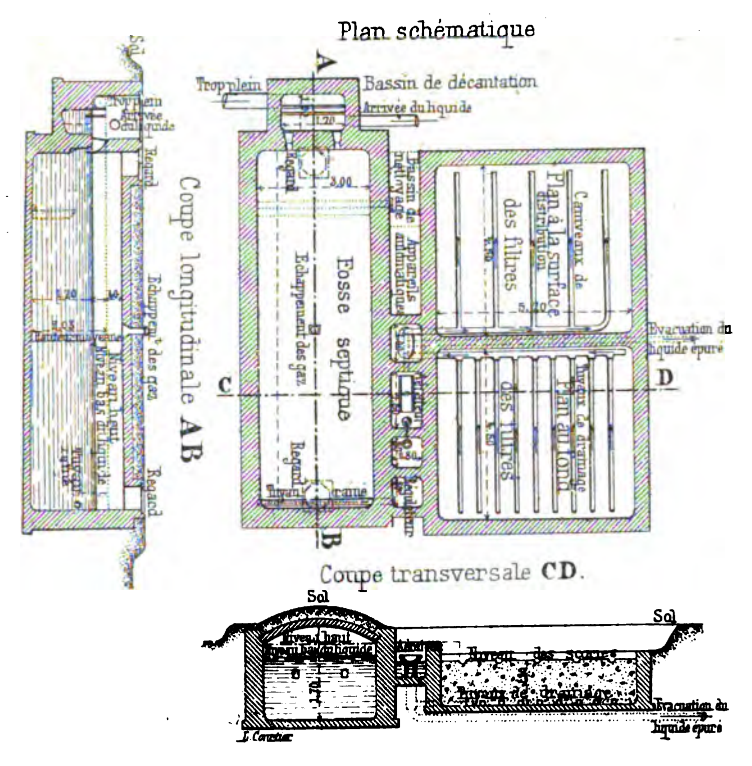


Fig. 2.

ries. Pour remplir ce rôle, on emploie de préférence, des mâchefers ou des scories.

Je ne veux pas m'étendre davantage sur la description d'un procédé déjà décrit dans des revues scientifiques.

Fonctionnement.

Après la décantation préalable, retenant une bonne partie des matières imputrescibles, les eaux sont introduites en profondeur, dans la fosse septique où elles séjournent en moyenne vingt-quatre heures.

Pendant ce laps de temps, les bactéries s'attaquent à la ma-

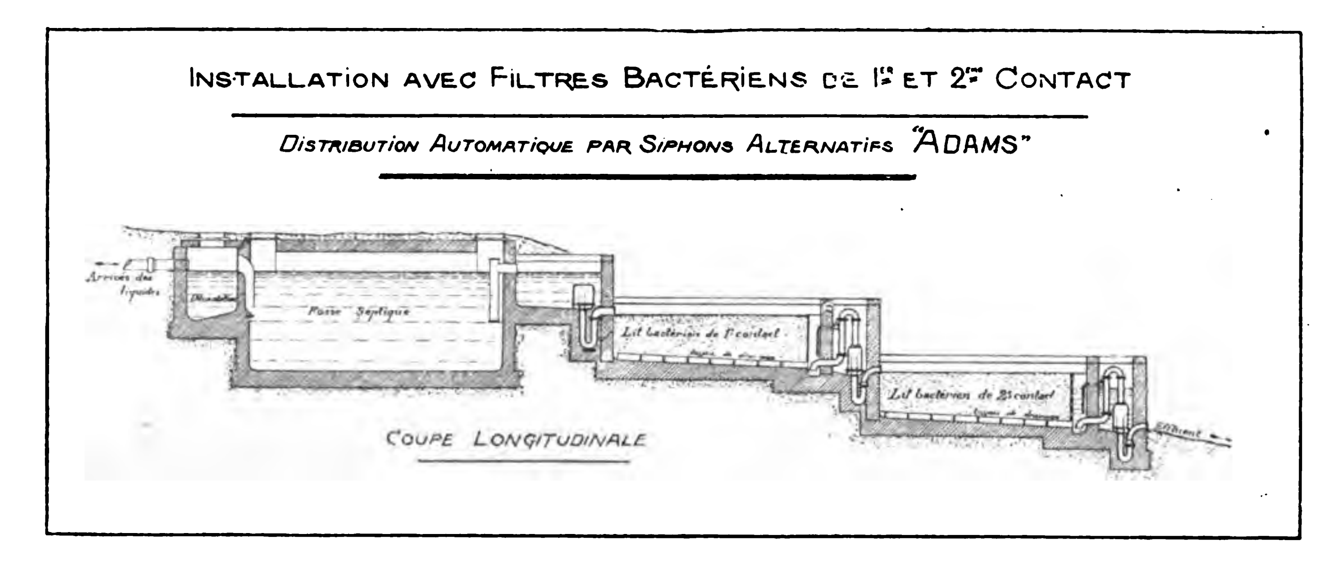

INSTALLATION AVEC FILTRES BACTÉRIENS DE 1re ET 2me CONTACT
DISTRIBUTION AUTOMATIQUE PAR SIPHONS ALTERNATIFS "ADAMS"
Arrivée des liquides
Fosse Septique
Lit bactérien de 1r contact
Lit bactérien de 2e contact
Effluent
COUPE LONGITUDINALE

FIG. 3.

tière organique qui, de corps complexe, est réduite en corps simple. Certaines substances servent de nourriture aux bactéries, d'autres contribuent même à leur constitution. Les diastases sécrétées agissent également sur la matière organique. Sous ces actions, l'azote albuminoïde est transformé en azote ammoniacal, il se produit une sorte de régression de la matière, les albuminoïdes sont hydratés, il en résulte finalement la production de liquide et de gaz.

Les eaux sont ensuite distribuées, d'une manière intermittente, sur le lit bactérien, où elles pénètrent et se trouvent en contact avec les matériaux filtrants. Les matières organiques en suspension et en solution se déposent sur ces matériaux et, dès ce moment, les microbes aérobies continuent le travail commencé dans la fosse par les anaérobies. Les ferments nitreux transforment l'azote ammoniacal en nitrites, puis les ferments nitriques, par une oxydation active, transforment les nitrites en nitrates, dernier terme de la minéralisation qui est le but poursuivi.

Les filtres bactériens peuvent travailler, suivant deux méthodes. Celle que je viens de décrire est la méthode de contact *(fig. 3)*, c'est-à-dire que les liquides séjournent un certain temps (en moyenne deux heures) au milieu des matériaux filtrants. La seconde méthode est dite de percolation, c'est-à-dire que les liquides ne font que passer lentement à travers les supports d'oxydation *(fig. 4)*. La distribution, dans ce cas, doit être aussi régulière et uniforme que possible. Dans l'une, comme dans l'autre méthode, ce sont les mêmes phénomènes biologiques qui interviennent.

Telles sont, en résumé, les actions chimiques, mécaniques et biologiques qui entrent en jeu dans le procédé mis en pratique depuis ces dernières années.

Bien entendu, il ne faudrait pas croire que le séjour dans la fosse doit être uniformément de vingt-quatre heures, comme celui dans les filtres de contact de deux heures; il ne s'agit là que d'approximations variables avec la nature des liquides; de plus, le séjour s'entend pour les liquides et non pour les matières.

La fermentation en fosses septiques, n'est pas due non plus uniquement aux anaérobies: de nombreuses colonies aérobies y contribuent également, de même que des anaérobies agissent encore dans les filtres.

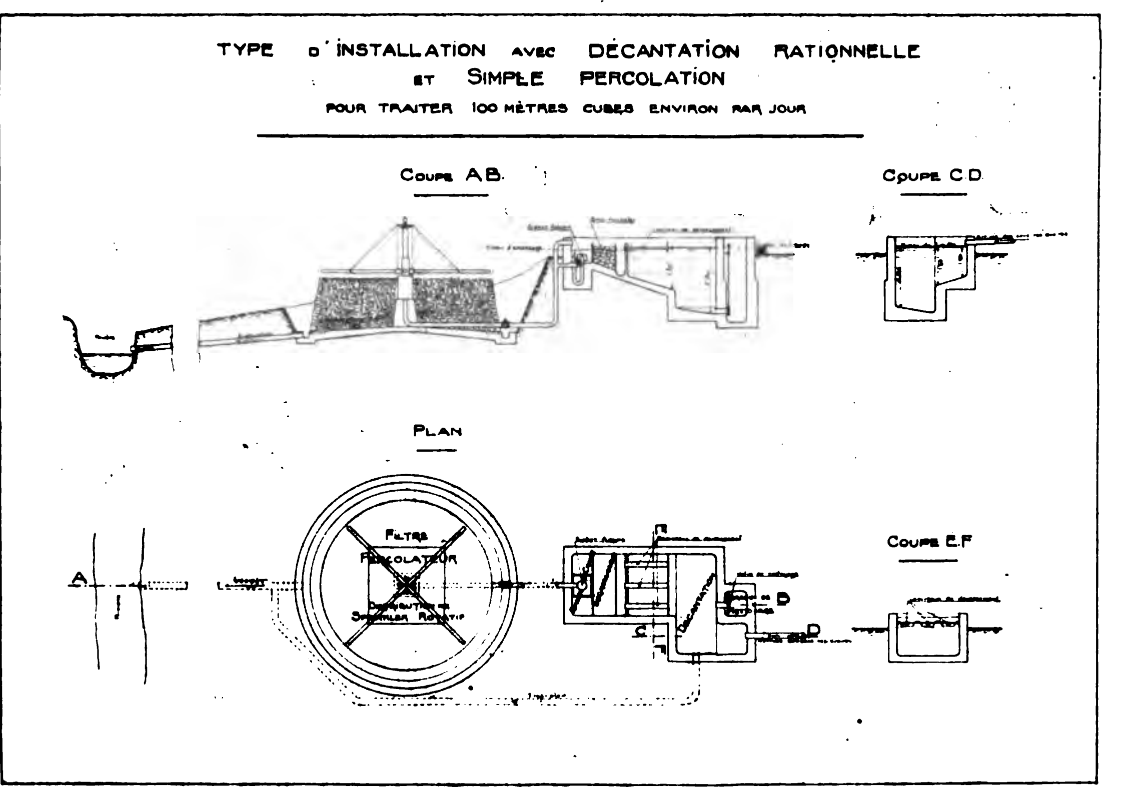

TYPE D'INSTALLATION AVEC DÉCANTATION RATIONNELLE
ET SIMPLE PERCOLATION
POUR TRAITER 100 MÈTRES CUBES ENVIRON PAR JOUR
COUPE A.B.
COUPE C.D.
PLAN
FILTRE PERCOLATEUR
DISTRIBUTEUR SPRINKLER ROTATIF
DÉCANTATION
COUPE E.F
A
C
D

FIG. 4.

Nature des matériaux filtrants.

On a souvent discuté sur la nature des matériaux filtrants qu'il était préférable d'adopter ; des essais ont été faits avec du mâchefer, du coke, des scories de hauts fourneaux, de l'argile cuite concassée, des pierres calcaires, etc. J'estime que si l'on voulait bien admettre que les supports d'oxydation ne jouent et ne peuvent pratiquement jouer qu'un rôle purement mécanique, l'hésitation ne serait plus permise.

Pour jouer ce rôle, deux qualités sont indispensables :

1° La dureté pour ne pas se désagréger trop rapidement ;

2° Une surface développée, la plus grande possible sous un même volume.

Le mâchefer est, sans conteste, le support qui réunit le mieux ces qualités.

Il n'est pas nécessaire que le support filtrant soit poreux, car la zooglée ou sorte de gélatine enfermant les microbes et recouvrant toute la surface du support rend cette qualité presque inutile.

Les expériences qui ont été faites récemment par MM. Muntz et Lainé, avec des filtres bactériens garnis de tourbe, ont donné des résultats remarquables et très précieux sur la marche de la nitrification, mais au point de vue pratique de l'épuration, il est à craindre que les résultats ne soient pas aussi satisfaisants. Avec des filtres de surface relativement grande, la tourbe se colmate rapidement et perd vite ses propriétés.

Des expériences avec des installations assurant des services réguliers ont été faites, il y a plusieurs années, en Angleterre, aux États-Unis et à Rome, par le Professeur *Pagliani*. Les résultats ont été peu encourageants.

Cependant MM. Muntz et Lainé ont si bien étudié, si bien défini le rôle de la tourbe dans la nitrification, qu'il est permis de penser que mise en œuvre d'une façon spéciale, la tourbe pourra sans doute rendre de grands services dans l'épuration des eaux-vannes.

Fosse septique ouverte ou fermée.

On a discuté souvent sur l'opportunité de couvrir les fosses. On s'est demandé si les avantages donnés par la fosse fermée étaient suffisants pour justifier le coût de la couverture. A mon avis, la fosse fermée à l'abri de l'air, de la lumière et surtout des intempéries est le siège de fermentations beaucoup plus actives ; le prix de la couverture, qui d'ailleurs peut être faite très économiquement, ne doit pas entrer en ligne de compte.

La fosse ouverte, en dehors d'une action moins efficace, présente divers inconvénients graves : elle favorise l'éclosion de nombreux insectes, mouches, moustiques qui sont d'excellents agents de propagation des maladies infectieuses.

Entre les deux dispositifs, il y a un moyen terme que je conseille particulièrement, c'est celui qui consiste à disposer sur les fosses de larges ouvertures garnies de grilles et d'un tamis. Dans une fosse ainsi établie, à l'action des anaérobies vient s'ajouter, d'une façon notable, celle des aérobies et celle non moins appréciable d'une quantité de larves, d'infusoires, de vers et insectes de toutes sortes.

Enfin, en plus de l'action directe des microbes, il y a encore celle des diastases ou ferments solubles, qui est loin d'être négligeable ; or cette action est beaucoup diminuée par la lumière et l'air. C'est donc un argument de plus en faveur de la couverture des fosses. On aurait tort pour cela de compter sur la croûte de surface, qui est continuellement désagrégée par la pluie et le vent.

Applications du procédé.

Depuis les expériences de Dibdin et de Cameron, l'épuration bactérienne a reçu de nombreuses applications, principalement en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne. En France, malheureusement, les exemples sont encore très rares ; pourtant des installations sont en service, entre autres à *Toulon (fig. 2 et 3, Pl. 176)*, à *Sathonay* près de Lyon, à *Champagne-sur-Seine (fig. 5)*, à *Tizi-Ouzou* (Algérie) et dans quelques établissements, hospices, hôpitaux, sanatoriums. Enfin, une application importante sera bientôt en service à *Mont-Mesly* près Créteil pour une partie des eaux d'égout du Département de la Seine.

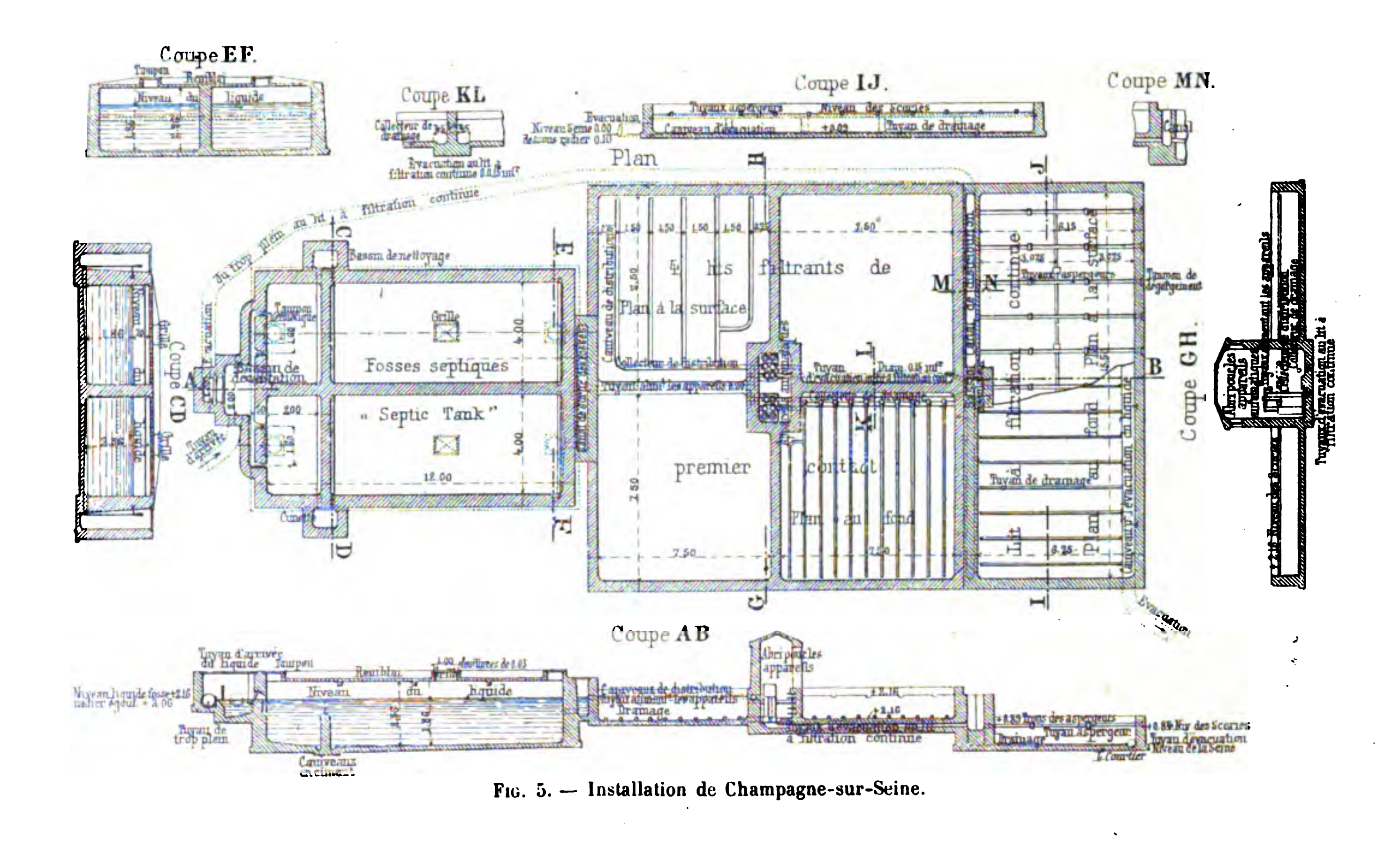


Fig. 5. — Installation de Champagne-sur-Seine.

Malgré les résultats probants obtenus de divers côtés et le nombre de plus en plus grand des installations, l'épuration biologique intensive rencontre encore de nombreux adversaires, surtout en France.

Les partisans des systèmes détrônés ne désarment pas facilement; les sociétés de vidanges viennent grossir leur rang, car elles ne voient pas avec plaisir poindre le jour où l'adoption générale du « tout à l'égout » sonnera leur disparition; jusqu'ici les résultats donnés par l'épandage avaient été plutôt utiles aux adversaires du « tout à l'égout ».

Les attaques sont surtout dirigées contre la fosse septique, les filtres bactériens pouvant être, à la rigueur, admis comme champs d'épandage d'une composition idéale.

Je tiens donc à réfuter les objections qui ont été faites d'une manière générale contre l'épuration biologique intensive, à justifier l'efficacité réelle de la fosse septique et à répondre en particulier à la communication faite, dans la séance de juin 1907, par notre honorable Collègue, M. P. Vincey, Ingénieur agronome, Membre de la Commission des Champs d'épandage de la Ville de Paris.

Comparaison avec l'épandage.

Dans le but de démontrer la supériorité de l'épandage, M. Vincey a basé toute son argumentation, d'une part, sur les résultats obtenus par la Ville de Paris pour l'épandage et, d'autre part, sur les résultats obtenus dans trois installations expérimentales pour l'épuration biologique intensive.

Je me permettrai, tout d'abord, de faire remarquer qu'en principe on ne doit pas dire que tel procédé est supérieur à tel autre, sans spécifier dans quelles conditions précises. En effet, si au lieu d'une série de filtres bactériens, comme dans le cas des expériences citées, on disposait de deux ou trois séries de filtres, si au lieu de traiter sur une même surface cinquante fois plus d'eau que dans l'épandage, on n'en traitait que vingt-cinq fois plus, par exemple; il est évident que la comparaison ne serait plus la même et que les résultats du procédé intensif pourraient alors se rapprocher et même dépasser ceux de l'épandage.

D'autre part, il est bien certain que les résultats de l'épandage pour une ville de 3 millions d'habitants ne peuvent pas être

normalement les mêmes que ceux d'une ville de 50.000 habitants, par exemple, tout en supposant initialement les eaux et terrains de même nature. Dans le cas de la petite ville, vu le peu de longueur des canalisations, les opérations mécaniques étant réduites au minimum, les désagrégations chimiques et biologiques sont presque nulles, les matières arriveraient sur les champs d'épandage, pour ainsi dire à l'état frais et solide.

Avec le procédé biologique intensif, quelle que soit l'importance de la ville, une fermentation rationnelle en fosse septique permettra toujours d'obtenir une émulsion homogène apte à subir l'oxydation sur les filtres.

La question n'est donc pas bien posée pour en tirer des conclusions générales et une déduction valable en ce qui concerne la comparaison des deux procédés.

Néanmoins, examinons les résultats sur lesquels s'est basé M. Vincey pour établir son opinion sur le procédé intensif: notre Collègue, pour ses appréciations, nous a parlé des pourcentages et des moyennes d'épuration; il a comparé le taux d'épuration rapporté à la matière organique quelconque, taux établi lui-même d'une façon irrégulière, puisque les matières dosées dans l'effluent ne sont plus les mêmes que celles de l'affluent.

J'ai eu l'occasion d'étudier et suivre le fonctionnement de nombreuses installations traitant des eaux souvent très différentes les unes des autres; j'en ai observé les phases successives qui n'étaient pas toujours en concordance avec les prévisions faites à la suite d'essais de laboratoire, ce qui me permet de dire qu'en pareil cas, la pratique a une grande importance. D'autant plus qu'il faut considérer que la composition des eaux dont il s'agit est tellement complexe et que, d'autre part, les travailleurs auxquels on fait appel sont encore si peu connus et d'espèces si variées, qu'il est bien difficile de s'en tenir aux prescriptions généralement connues.

Revenant à la question, je constate que M. Vincey n'a tenu compte que de *la quantité et non de la qualité* des matières organiques. Est-il bien certain de ne pas faire erreur? Le but que l'on doit poursuivre en pareil cas n'est-il pas de rechercher les matières susceptibles d'occasionner des contaminations? Qu'importe la quantité des matières inoffensives ou très facilement oxydables?

Il faut donc rechercher et comparer les taux d'azote organique qui représente la substance nocive. M. Vincey a délaissé cette question; il a même comparé des résultats obtenus à l'aide de

méthodes d'analyses connues pour ne donner que des chiffres inexacts.

Le dosage de la matière organique, par la quantité d'oxygène emprunté au permanganate de potasse, donne des résultats très variables, surtout sur des liquides ayant subi la fermentation en fosse septique dont la composition a été modifiée en partie par gazéification et dont les transformations ont produit des composés ammoniacaux qui empruntent beaucoup moins d'oxygène au permanganate de potasse que les substances contenues dans l'eau d'égout.

Ce dosage représente plutôt un coefficient d'oxydabilité ; or, ce coefficient varie nécessairement avec la nature des matières organiques. C'est pourquoi certains chimistes spécifient que cette méthode permet d'évaluer les matières organiques oxydables.

M. Vincey a cité et comparé aussi les résultats exprimant la matière organique dissoute obtenus à l'aide du dosage pondéral, c'est-à-dire par évaporation, calcination et perte au rouge.

Là encore des erreurs sont toujours possibles, car dans la calcination il arrive souvent que certains sels minéraux disparaissent également, de sorte que leur poids entre en ligne de compte avec celui de la matière organique.

Notre collègue a cité longuement des analyses faites par M. Bonjean, Chef du Laboratoire du Conseil supérieur d'Hygiène de France, sur les résultats de mon installation expérimentale de Clichy. Parmi les résultats exprimés, il y a, en effet, celui de la matière organique par perte au rouge, mais il ne s'agit là que d'un renseignement secondaire à juxtaposer au taux de l'azote albuminoïde et ammoniacal. Se basant sur des chiffres ainsi évalués, M. Vincey a déclaré que le pourcentage d'épuration de ces expériences n'était que de 27 0/0 et l'a comparé avec celui de 97 0/0 donné par l'épandage obtenu par la méthode du permanganate. Cette comparaison ne me paraît pas plausible.

En vérité, il fallait, pour une comparaison aussi juste que possible, se baser sur la diminution de l'azote organique et, au lieu de 27 0/0 donné comme pourcentage d'épuration, le résultat serait alors de 74 0/0 *(fig. 6)*.

Pour apprécier l'efficacité des deux modes d'épuration, il était plus rationnel d'évaluer le coefficient de contamination et, pour cela, on dispose de trois dosages principaux :

1° La teneur en azote albuminoïde ;

2° La teneur en azote ammoniacal;
3° Le taux des matières organiques quelconques dissoutes.

Les deux premiers, en la circonstance, sont de beaucoup plus importants et peuvent être déterminés exactement.

Le troisième n'a qu'une importance des plus relatives et ne peut être évalué que très inexactement.

M. Vincey a pourtant choisi ce dernier, celui dont les résul-

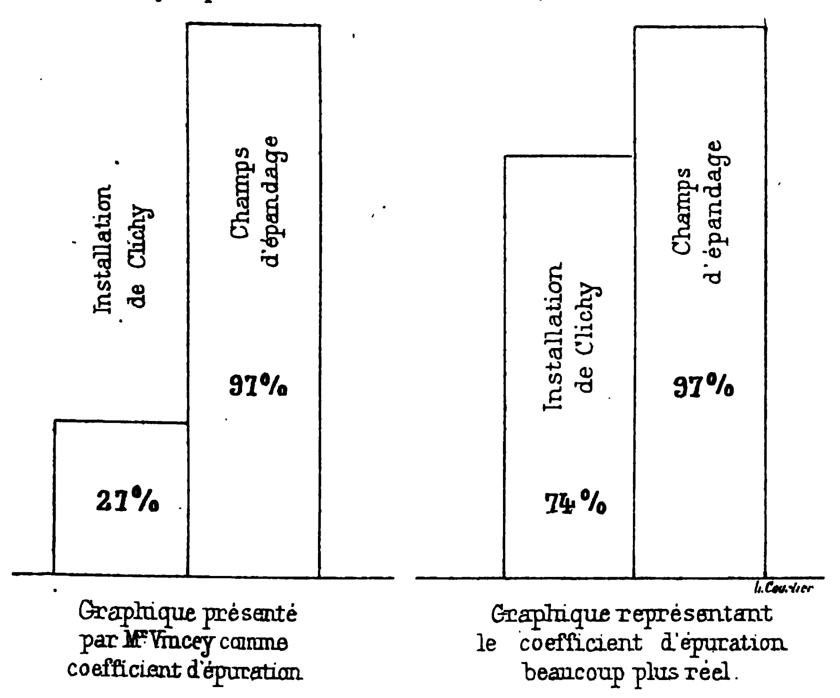


Fig. 6.

tats sont des plus douteux, et c'est à l'aide d'arguments ainsi échafaudés qu'il voudrait démontrer la supériorité de l'épandage.

Ce que je viens de dire devrait suffire pour n'accepter qu'avec la plus grande circonspection les arguments produits contre l'épuration biologique intensive.

En ce qui concerne les résultats bactériologiques, on doit, pour la comparaison, observer des règles encore plus rigoureuses que pour l'analyse chimique. Il importe que les prélèvements et les méthodes de numération soient absolument semblables. Le même opérateur, avec les mêmes liquides, peut encore faire des erreurs allant jusqu'à 50 0/0.

Quoique ayant obtenu aussi un pourcentage de 99,99 0/0, je

n'attache qu'une importance très relative à ce chiffre, l'analyse bactériologique devrait surtout avoir pour but la recherche des espèces pathogènes.

Notre Collègue, ayant comparé divers résultats bactériologiques, a examiné ce qui se passerait en supposant le procédé intensif appliqué aux eaux de Paris; en multipliant par le chiffre considérable du volume de ces eaux, il a trouvé naturellement des chiffres formidables bien faits pour frapper les personnes non prévenues. Il est à supposer pourtant que les microbes n'observent pas pour leur reproduction des règles aussi mathématiques que celles suivies par M. Vincey.

Au surplus, je le répète, comme pour les matières organiques, c'est surtout la nature et non le nombre des microbes qui importe. Il faut noter enfin que, dans la Seine, une grande partie des bactéries seraient détruites par les phénomènes d'auto-épuration.

S'étant fait une opinion en interprétant les résultats comme nous venons de le voir, M. Vincey a presque traité de fantaisiste le procédé d'épuration intensif; par contre, nous allons voir comment il a présenté les résultats de l'épandage et la situation de la Ville de Paris, quant à l'épuration de ses eaux d'égouts.

Résultats donnés pour l'épandage.

Je tiens encore à faire remarquer que les spécifications de pourcentages et de moyennes, qu'il s'agisse de degré d'épuration, comme du volume des eaux, ne correspondent pas à une situation exacte dont on puisse tirer une conclusion véritablement utile. Je vais essayer de vous le démontrer.

Ainsi, pour évaluer le pourcentage d'épuration obtenu sur les champs d'épandage, notre Collègue a produit des chiffres provenant des analyses de l'effluent de certains drains; il en a déduit le pourcentage moyen d'épuration, sans tenir compte des eaux ne subissant aucune épuration pour des raisons inhérentes au procédé et qu'on ne doit pas logiquement passer sous silence.

Il n'est pas douteux, en effet, qu'à certains endroits des eaux s'en vont, par des crevasses ou des failles ou par des simples trous de rats, contaminer les nappes souterraines et que, très fréquemment, pour ne pas dire journellement, des eaux d'égout

sont rejetées directement en Seine par suite du refus des cultivateurs, refus motivé par le temps.

A ce sujet, il ne faudrait pas croire que, si la Ville de Paris rejette une grande quantité d'eau à la Seine, cela tienne uniquement au trop fort débit des égouts à certains jours. Non, c'est la plupart du temps parce que le pouvoir d'absorption utile du sol, ordinairement limité, est considérablement réduit par le temps. Il est certain, en effet, que par les basses températures, lorsqu'il gèle *(fig. 4, Pl. 176)* et aux époques pluvieuses, la terre absorbe beaucoup moins. Or, c'est précisément le jour où le débit des égouts est le plus fort, quand il pleut, que les champs d'épandage travaillent le moins.

Le défaut est donc d'autant plus sensible et est bien inné de la méthode.

Les déversements en Seine ont lieu à Clichy, à Saint Ouen, à Saint Denis et même au point terminus de l'émissaire de Triel; quelques déversements sont également faits en amont de Paris.

Au surplus, que dirait-on d'un médecin qui, dans son service, commencerait par rejeter par-dessus bord un certain nombre de ses malades et qui viendrait ensuite parler de la moyenne de l'état sanitaire sans tenir compte des noyés? M. Vincey n'agit pas autrement en donnant à ses chiffres la signification de moyennes.

Dans l'épuration biologique intensive, on ne rejette rien par-dessus bord; il n'y a pas de contaminations des nappes souterraines; les fonds sont étanches; les pourcentages, indiqués aussi bien pour les volumes que pour le taux d'épuration, sont rigoureusement exacts et représentent bien des moyennes.

Quoi qu'il en soit, notre Collègue nous déclarant que la Ville de Paris rejette en Seine 100 000 m³ d'eau d'égout par jour est parti de là pour évaluer le coefficient de contamination du fleuve et pour conseiller ensuite un remède qui consisterait à envoyer ces 100 000 m³ en supplément sur les terrains appartenant à la Ville et formant une superficie d'environ 1 550 ha.

On voit, dès maintenant, l'échec auquel peut conduire l'interprétation des moyennes; par définition, ce qualificatif signifie qu'à certains jours le volume rejeté peut atteindre 200 000 m³ (nous verrons que ce chiffre est fréquemment dépassé). *La dose, déjà maximum, serait augmentée de cent pour cent.*

Volume réel des eaux rejetées en Seine.

Le chiffre de 100 000 m³, que veut bien nous déclarer M. Vincey, est d'ailleurs bien loin de la vérité ; pour s'en convaincre il suffit de lire les rapports de la Commission des champs d'épandage à la même époque. Il y est dit que la quantité d'eau rejetée par jour a été, en moyenne, de 170 000 m³. Et ce chiffre est évalué par les services intéressés eux-mêmes, à l'aide de dispositifs ne donnant que des évaluations assez vagues et pour ainsi dire impossibles à contrôler.

Ces dispositifs, en effet, enregistrent assez bien les différentes hauteurs d'eau, mais ne donnent pas d'indication sur la vitesse du courant.

Enfin, à l'époque des hautes eaux, la Seine remonte dans les égouts, il n'y a plus de contrôle possible, les pompes ne fonctionnent plus, c'est la totalité des eaux d'égout qui va au fleuve.

Pour ces diverses raisons, on peut, sans aucune exagération, dire que le volume des eaux rejetées journellement est *au minimum de 200 000 m³*.

Afin d'établir l'importance des souillures de la Seine dues au régime actuel, il faudrait, bien entendu, ajouter à ce chiffre les eaux rejetées en amont de la Ville de Paris. On pourra, je le sais, dire que les eaux ainsi déversées ne viennent pas toutes de Paris ; une bonne partie vient des égouts départementaux ; mais il ne faut pas perdre de vue que certains de ces égouts sont branchés sur ceux de Paris. Or, à moins d'un remaniement complet et de difficultés matérielles et administratives auxquels il ne faut guère songer, la Ville de Paris est obligée de prendre en charge l'épuration d'une grande partie de ces eaux.

Répartition des eaux d'égout entre les diverses cultures.

Nous allons maintenant examiner la mise en pratique du remède conseillé par notre Collègue, consistant à réglementer la culture sur les champs d'épandage, ce qui permettrait, dit-il, d'épurer la totalité des eaux avec la surface actuelle de terrains disponibles.

Pour atteindre ce but, nous apprenons, tout d'abord, grâce à une gymnastique de chiffres ingénieuse, qu'il faudrait en surface tant de betteraves, tant de pommes de terre, tant de prairies, céréales, etc., etc., ce qui donnerait la possibilité d'irriguer à raison de telle ou telle dose par mètre carré. Mais ces chiffres, attribués à chacune des cultures, ne sont basés, au moins en ce qui concerne les deux tiers (1) des champs d'épandage, que sur des appréciations très vagues et très variables. Les Services techniques des eaux d'égout de la Ville de Paris avouent eux-mêmes ne jamais savoir exactement combien il est distribué sur telle ou telle culture. De plus, n'est-il pas évident que la même culture peut avoir besoin de plus ou moins d'eau, suivant qu'elle est pratiquée sur tel terrain, suivant l'emplacement de ce terrain, et, enfin, suivant le temps qu'il fait.

Au surplus, comment M. Vincey pense-t-il pouvoir imposer aux particuliers, propriétaires des deux tiers des champs d'épandage, les cultures de son choix?

En supposant même, après des équilibres péniblement élaborés entre la culture privée et la culture municipale, qu'il veuille, comme il le déclare, faire absorber par cette dernière, réduite en prairie, le supplément indiqué de 100 000 m³, les 1 500 ha de la Ville, traitant déjà 200 000 m³, recevront alors 300 000 m³ par jour, c'est-à-dire le double de la dose légale. Avec le supplément réel de 200 000 m³, ils auraient à traiter 400 000 m³! Eh bien, qu'il s'agisse de l'un ou l'autre de ces chiffres (300 ou 400 000 m³) et en allant même plus loin que M. Vincey, c'est-à-dire en laissant les champs sans culture, j'estime que les terrains municipaux ne pourront *jamais absorber l'un ou l'autre des volumes supplémentaires;* ils seraient vite colmatés et rendus impropres à tout service.

De l'avis de tous les spécialistes, il est notoire qu'on ne peut traiter régulièrement et d'une façon satisfaisante la dose légale qu'à la condition de n'irriguer les mêmes parcelles que tous les trois ou quatre jours, de sorte que les 1 550 ha représentent environ *la cinquième partie de ce qui serait nécessaire* pour un bon résultat.

En Allemagne, en Angleterre, aux États-Unis, avec les terrains les plus favorables, on n'a jamais pu approcher, même de très loin, notre dose légale de 11 l par mètre carré. En Allemagne et

(1) Puisque les deux tiers des champs d'épandage actuellement irrigués appartiennent à des particuliers.

en Angleterre, la dose est de 4 à 5 l par mètre carré et par jour, à Reims de moins de 6 l. Les eaux de cette dernière ville sont très diluées (plus de 300 l par habitant), elles ne renferment pas les produits de cabinets d'aisances, et pourtant, lors de la visite que nous avons faite aux champs d'épandage, l'année dernière, au moment du Congrès de l'Association pour l'Avancement des Sciences, le concessionnaire nous a déclaré que, pour bien faire, il lui faudrait trois fois plus de terrain ; heureusement, ajoutait-il, que nous avons là des parties basses, marécageuses, sans aucune culture, qui reçoivent le trop-plein en cas de besoin. En effet, la Ville de Reims utilise pour l'épuration de ses eaux 500 ha de terres cultivées et 300 ha de prairies ou marécages, au total 800 ha, soit à proportion une *surface quatre fois plus grande que celle employée actuellement par la ville de Paris.*

Répartition des eaux d'égout rejetées en Seine.

Dans le but d'évaluer le coefficient de contamination de la Seine, de comparer ce coefficient avec celui qui serait obtenu par l'application de l'épuration intensive, et enfin d'attribuer à chacun la part de responsabilité qui doit lui revenir dans cette pollution de la Seine, M. Vincey a évalué séparément les quantités d'eau déversées :

1° Par la Ville de Paris, 100 000 m^3 ;

2° Par le département de la Seine, 200 000 m^3 ;

3° Par le département de Seine-et-Oise, 168 000 m^3.

Nous avons déjà vu que le chiffre de 100 000 m^3 indiqué pour la Ville de Paris était loin d'être exact ; à mon avis, ceux attribués aux départements de la Seine et de Seine-et-Oise ne le sont pas davantage et, de plus, ne peuvent, lorsqu'il s'agit de calculer l'importance des souillures, être mis en parallèle avec ceux de Paris.

Pour remplir les obligations qui lui ont été dictées par les lois d'avril 1889 et juillet 1894, autorisant le « tout à l'égout », la Ville de Paris, déclare notre Collègue, a un moyen bien simple : il lui suffit d'épurer les 100 000 m^3 actuellement déversés ; elle pourra alors rejeter les responsabilités sur le département de la Seine et sur celui de Seine-et-Oise.

En théorie, le moyen paraît en effet fort commode, mais en pratique il n'en est plus de même, la répartition entre le dépar-

tement et la Ville de Paris n'est pas aussi facile, et il est probable que le département de Seine-et-Oise n'accepterait pas sans se défendre la quote-part de responsabilité qui lui serait ainsi fixée.

M. Vincey oublie que, parmi les 200 000 m³ qu'il attribue au département de la Seine, une proportion très forte provient d'une part de communes dont les égouts viennent presque obligatoirement se déverser *intra muros* dans ceux de Paris (tels ceux de Vincennes, Saint-Mandé, Gentilly avec les eaux de la Bièvre), et, d'autre part, de communes dont on a pris les voies principales pour le passage des collecteurs parisiens (telles Levallois-Perret, Clichy, Saint-Ouen, etc.), ces communes n'ayant cédé leurs droits qu'à la condition formelle que *la Ville de Paris recevrait leurs eaux usées dans ses collecteurs*. Les communes de Gennevilliers, Asnières, Colombes, dont on a emprunté les grandes artères, ne seraient-elles pas aussi en droit de réclamer ?

Enfin, ne serait-il pas injuste de comparer, au point de vue des contaminations de la Seine, les eaux usées départementales ne renfermant pas actuellement, tout au moins, les produits de « tout à l'égout », avec celles de la Ville de Paris ?

Étant données ces raisons et aussi le régime d'égouts du système unitaire *avec déversement du trop-plein en Seine*, la Ville de Paris sera toujours, avec juste raison, considérée comme l'agent de la plus forte contamination.

Eaux déversées par la Ville de Paris.

Les eaux usées de toutes sortes, provenant d'eau d'alimentation et d'eau de rivière, évacuées par les égouts de Paris, atteignent en moyenne 750 000 m³ par jour. D'autre part, il tombe annuellement dans la région parisienne une hauteur d'eau approximative de 600 mm, soit pour la surface totale (8 000 ha) 48 millions de mètres cubes. Si on retranche de ce chiffre, pour évaporation et infiltration, une proportion de 50 0/0, sans doute bien près de la vérité dans le cas d'une telle ville, il reste 24 millions de mètres cubes par an, ou 66 000 m³ par jour (qui sont en réalité répartis sur soixante-cinq jours de pluie, ce qui donne pour chacune de ces journées, 370 000 m³). Quant aux eaux départementales que la Ville est obligée de recevoir dans ses égouts, elles peuvent atteindre environ 7 millions de mètres cubes par an.

Or il ne faut pas oublier que ces eaux pluviales sont déversées dans le fleuve *après avoir été mélangées aux déchets de la vie de 3 millions d'habitants*.

Eaux déversées par le département de la Seine.

Voyons maintenant la situation du département de la Seine. Sa superficie est de 39 600 ha, sans compter Paris; le volume des eaux pluviales y atteint donc environ 237 millions de mètres cubes. Mais, dans le cas présent, vu le drainage insuffisant, la grande surface des cours, jardins et rues macadamisées simplement, les parties boisées et celles qui sont drainées bien en aval de Paris, il convient de retrancher près de 80 0/0 du volume total. Il reste en eau drainée environ 49 millions de mètres cubes, sur lesquels il y a lieu de retrancher les eaux d'une surface approximative de 5 000 ha, allant obligatoirement, comme je viens de le dire, dans les égouts de la ville de Paris. Cette surface donne en eau écoulée 7 millions de mètres cubes.

De sorte qu'il reste véritablement pour les égouts départementaux, annuellement, 42 millions de mètres cubes d'eaux pluviales, soit en moyenne 120 000 $^{m^3}$ par jour, auxquels il faut ajouter, bien entendu, les eaux usées et les eaux industrielles, toujours en déduisant les communes évacuant dans les collecteurs parisiens, soit un volume approximatif de 180 000 $^{m^3}$, provenant d'un million d'habitants et ne contenant qu'une très faible quantité de produits du « tout à l'égout ».

Eaux déversées par le département de Seine-et-Oise.

En ce qui concerne le département de Seine-et-Oise, notre Collègue n'a pas été tendre; il lui attribue plus du tiers des eaux d'égout déversées en Seine (exactement 168 000 $^{m^3}$ sur 490 000). Je ne sais comment on peut arriver à une telle précision, mais nous pouvons essayer de vérifier le volume et l'importance des souillures provenant de ce chef. Les communes de Seine-et-Oise évacuant leurs eaux dans la même région que le département de la Seine, forment une population de 220 000 personnes au maximum; les rues de ces communes étant peu ca-

nalisées, une grande partie des eaux ménagères se perd par infiltration ; enfin le tout à l'égout n'est pas en pratique. Si on accorde malgré cela 200 l d'eaux usées de toutes sortes, allant à l'égout, par jour et par habitant, on arrive en chiffres ronds au total de 45 000^{m3}. Nous sommes encore bien loin des 168 000^{m3} dans lesquels, je suppose, M. Vincey n'a pas fait entrer en ligne de compte les eaux pluviales, puisqu'il a comparé ce chiffre avec ceux ne les comprenant pas.

N'oublions pas que ce volume total est réparti par fractions relativement faibles sur plusieurs points de la Seine, éloignés les uns des autres, c'est-à-dire d'une manière propice aux phénomènes d'auto-épuration.

Que l'on envoie, en l'espace de vingt-quatre heures, 40 000 ou 45 000^{m3} d'eaux usées, *sans matières excrémentitielles*, dans une rivière ayant un débit moyen de 20 millions de mètres cubes par jour, la situation ne changera pas d'une manière sensible. C'est donc à bon droit que le Département de Seine-et-Oise se refuse à accepter les responsabilités qu'on voudrait lui imposer. Cela n'implique pas, bien entendu, qu'on peut rejeter impunément les eaux vannes, ménagères et industrielles dans le fleuve.

Situation véritable au point de vue de l'assainissement de la Seine.

En résumé, M. Vincey nous a dit : Les champs d'épandage traitent annuellement 550 000^{m3} par jour ; la Ville de Paris peut leur faire traiter 100 000^{m3} en plus ; elle remplira entièrement ses obligations, et ne pourra plus être rendue responsable de la pollution de la Seine. Or nous avons vu que ce n'est pas 650 000^{m3}, mais pour le moins 750 000^{m3} que la Ville devrait épurer journellement.

La situation ne pourra aller qu'en s'aggravant, puisque :

1° A l'heure actuelle, 40 0/0 des maisons de Paris, correspondant à environ 50 0/0 de la population, ne pratiquent pas le « tout à l'égout », qui n'existe pour ainsi dire pas dans les communes suburbaines ;

2° Il arrivera, sans aucun doute, que certains terrains au moins seront saturés, colmatés et ne produiront plus qu'une épuration très incomplète.

D'autre part, le jour est proche où le volume des eaux évacué

par la Ville atteindra 800 000^{m3} ; le remède conseillé n'envisageant que 650 000^{m3}, il en irait donc encore 150 000^{m3} par jour à la Seine. On voit que pour un assainissement intégral, dont nous a parlé M. Vincey, nous serions encore loin de compte, et que le coefficient de contamination qu'il attribue respectivement à la Ville et aux deux Départements doit être fortement modifié.

Enfin, notre Collègue a bien voulu nous rappeler que la Ville de Paris avait été condamnée à des dommages-intérêts envers les riverains de la Seine, mais il faut bien avouer que ce n'est pas seulement envers les riverains du fleuve, mais aussi envers les voisins des champs d'épandage, chez qui la Ville a dû, en plus d'indemnités, exécuter quelquefois des adductions d'eau potable. En augmentant l'intensité de l'irrigation agricole, ne risque-t-on pas de renouveler, en les aggravant, ces derniers inconvénients ?

Tout ce que je viens de dire me semble démontrer que la question d'épuration des eaux de la Ville de Paris est intimement liée à celle des eaux d'une grande partie au moins du Département de la Seine ; on ne comprend guère ce distinguo qui permet deux Administrations différentes.

Concernant l'épuration des eaux de la Ville, j'ai eu l'occasion de relire ces temps derniers certains rapports de Durand-Claye, datant de près de quarante ans, dans lesquels l'éminent Ingénieur déplorait l'état lamentable de la Seine, de Paris à Poissy, et préconisait chaudement, comme vous le savez, l'irrigation agricole pour faire cesser cet état de choses. Il prévoyait qu'après vingt ans d'utilisation du système de l'épandage, la Ville de Paris retirerait un gros bénéfice de ses eaux d'égout. Francisque Sarcey, lui-même, a fait campagne en faveur de l'épandage, en citant les plus-values des terrains de Gennevilliers et aussi en disant merveille des légumes cultivés sur ces terrains.

Dans un ouvrage sur le service des eaux et de l'assainissement de Paris en 1900 (1), M. Bechmann déclarait que les travaux en cours à Clichy, Colombes et Achères, allaient permettre de supprimer définitivement les déversements en Seine qui, disait-il, étaient relativement peu considérables. L'Ingénieur en chef de la Ville annonçait qu'à partir de 1901, la totalité des eaux serait épurée, et que le gros œuvre étant terminé, les sacrifices à entrevoir étaient limités.

(1) Ch. Béranger, éditeur (1900).

Nous pouvons constater aujourd'hui ce qu'il en est de ces prophéties.

Les déversements, et par suite l'infection de la Seine, ne font que suivre une marche ascendante; quant aux bénéfices tirés des eaux d'égout, ils se traduisent par un déficit de plusieurs millions par an (2), qui ne peut qu'aller en augmentant, puisque la surface des terrains particuliers va en diminuant, alors que le volume des eaux augmente.

Malgré les dépenses considérables effectuées, la fin des sacrifices semble devoir s'éloigner de plus en plus.

Cependant j'estime, comme je l'ai déjà dit, que dans ces discussions sur l'épandage agricole, on a eu souvent le grand tort de mettre en jeu les personnalités; il serait véritablement injuste de faire grief aux personnes qui ont fait adopter l'épandage pour les eaux de Paris, car, n'ayant en vue que l'intérêt général, elles ont choisi le meilleur système connu à l'époque; on devrait donc plutôt leur en être reconnaissant.

Épuration de la totalité des eaux de Paris et du département de la Seine.

Cette grosse question de l'épuration des eaux de la Ville de Paris et de celles du département de la Seine, mérite d'être envisagée autrement qu'à l'aide de statistiques faites en chambre. Il faudra bien, qu'on le veuille ou non, se rendre à l'évidence et se résigner à prendre, à bref délai, des mesures sérieuses et définitives. A cet égard, les affaires de la Ville et du Département doivent être connexes; il faudrait donc, à mon avis, dès maintenant, prendre des mesures d'ensemble.

Dans un délai certainement assez court, les eaux d'égout de Paris et du département de la Seine atteindront un volume total qui ne sera pas inférieur à un million de mètres cubes; l'étude de la question devrait se faire en tenant compte de ce chiffre. Pour épurer d'une façon régulière et certaine ce volume, tous les spécialistes vous diront que plus de 10 000 ha de terrains propices seraient nécessaires. La Ville en possède 1 500 et dispose de 3 500 ha appartenant à des particuliers, qui peuvent

(2) Voir à ce sujet les « Notes à l'appui du compte des dépenses du Service de l'Assainissement » publiées annuellement par la Ville de Paris.

lui échapper d'un jour à l'autre. Jamais on ne pourra réunir à une distance convenable, et à prix raisonnable, une telle surface de terrains.

Berlin, pour un volume de 240 000$^{m^3}$ d'eau d'égout correspondant à 2 millions d'habitants, emploie 6 000 ha de terrains d'épandage et dispose, en cas de besoin, de 5 000 ha supplémentaires (1).

En admettant qu'on arrive à réunir cette surface considérable, dont le prix d'achat, l'aménagement, les canalisations de distribution et de drainage formeraient un total d'environ 100 millions de francs, qui est-ce qui voudra bien prendre la responsabilité d'une telle dépense pour créer autour de Paris comme une immense couronne d'infections?

Il ne suffit pas de débarrasser Paris, il ne faut pas non plus en rendre les environs inhabitables. J'espère donc que la Commission des champs d'épandage n'entraînera pas la Ville de Paris dans une voie aussi funeste, et serai heureux si j'ai pu apporter ma modeste contribution à l'échec de cette combinaison.

Épuration biologique intensive.

Efficacité de la fosse septique.

En regard des arguments cités pour l'épandage, je vais maintenant exposer, aussi brièvement que possible, ceux démontrant l'efficacité réelle de la méthode intensive et en particulier le rôle utile de la fosse septique.

S'il existe encore des désaccords à ce sujet, cela tient à des causes diverses que je me bornerai à esquisser ici :

On ne connaît pas toujours bien les dispositifs à adopter suivant la nature des eaux; certaines fosses septiques ne sont que des bassins de décantation. Des erreurs sont faites sur les prélèvements et les interprétations d'analyses.

En citant les résultats obtenus par M. le docteur Calmette, à Lille, résultats très faibles, il est vrai, quant à l'action des fosses septiques, M. Vincey a voulu tirer des conclusions générales et montrer l'inefficacité de la fermentation en fosse septique.

(1) G. Bechmann, Distribution d'eau et assainissement des villes, librairie Béranger.
Ed. Imbeaux, Alimentation en eau et assaînissemnnt des villes, librairie Bernard et Cie.

Pour appuyer ses dires, M. Vincey a encore cité les expériences de Columbus, aux États-Unis, mais il n'en a donné que certains résultats qui sont sujets à caution, par suite des interprétations d'analyses; notre Collègue s'est bien gardé de donner les conclusions du rapport établi à la suite de ces expériences. Or ces conclusions démontrent que pour les eaux de Columbus, le meilleur procédé à conseiller est celui de l'épuration biologique intensive.

Ces expériences de Columbus ont été rigoureusement suivies, les moindres détails ont été scrupuleusement observés, et si, notre Collègue avait bien remarqué, il y aurait trouvé la condamnation de toute son argumentation, au sujet des analyses chimiques et bactériologiques.

Au surplus, l'efficacité de la fosse septique n'est-elle pas démontrée journellement dans les nombreuses installations assurant des services réguliers? Je pourrais en donner la liste; elle serait bien longue et sans doute fastidieuse.

Je rappellerai pourtant certains faits :

En 1892, dans les annales de l'Institut Pasteur, *Duclaux*, analysant les expériences d'Hirams Mills au Massachusetts sur l'épuration des eaux d'égouts, a prévu la solubilisation de la matière organique par fermentation.

Le Professeur *Dunbar*, de Hambourg, qui, il y a quatre ans, déclarait que la fosse n'était pas indispensable dans l'épuration biologique, avoue aujourd'hui que le traitement préalable en fosse septique est, sans aucun doute, une sérieuse préparation pour l'épuration définitive.

M. F. Clowes, chimiste de la ville de Londres, dans un article paru dans le *Times*, du 16 octobre 1907, déclarait notamment :

« Il a été généralement trouvé avantageux de faire subir à l'eau d'égout un traitement préliminaire par un passage lent à travers des « Septic Tanks » avant de les envoyer sur les filtres, ceci pour produire un liquide d'une qualité moyenne et pour effectuer, en plus, dans une grande proportion, la liquéfaction des matières organiques... »

Par contre, M. F. Clowes disait, au sujet de l'épandage :

« Il y a une trentaine d'années, la méthode de l'épandage fut recommandée et a été employée dans beaucoup de pays jusqu'à nos jours. Avec un terrain bien approprié et de surface convenable, on a démontré qu'il était possible d'obtenir un effluent épuré, mais il a été impossible de trouver, pour les

grandes villes, des surfaces de terrains propices suffisantes à des prix raisonnables, et des inconvénients de toutes sortes sont survenus, parmi lesquels il faut compter l'impossibilité à la terre d'absorber, par certains temps humides ou gelées, ce qui, par conséquent, empêche toute épuration. »

La Commission Royale du « Sewage », en Angleterre, comprenant des savants de toute autorité, parmi lesquels sir William Ramsay, bien connu en France, dans son cinquième rapport qui vient d'être publié tout récemment, travail considérable de près de 3 000 pages, déclare notamment dans ses conclusions :

Il n'y a pas de différence essentielle entre les effluents provenant de l'épandage et ceux de la méthode bactérienne artificielle.

Presque toutes les villes anglaises emploient maintenant l'épuration bactérienne, entre autres *Manchester*, *Birmingham*, *(fig. 5 et 6, Pl. 176) Chester*, *Derby*, *Exeter*, *Barrhead*, *Osborne*, *Ealing*, *Oldham*, *Accrington*, *Burnley*, *Leicester*, *Halifax*. *Glasgow*, *Morecambe*, pour n'en citer que quelques-unes.

Aux États-Unis, après de nombreuses expériences, les municipalités adoptent l'épuration biologique par fosses septiques et filtres bactériens. Ainsi, à *Columbus*, une installation très importante est en cours d'exécution. A *Baltimore*, une installation comprenant :

10 fosses septiques pouvant contenir 25 millions de gallons,

10 filtres percolateurs à sprinklers fixes d'une superficie de 12 ha,

Est également en voie d'exécution pour traiter d'abord le sewage de 500 000 habitants, puis, en prévision, celui de un million de personnes.

D'autres villes moins importantes ont également adopté le procédé, telles que *Raleigh*, *Saratoga*, *Plainfield*, etc.

En Allemagne, une vingtaine de villes ont déjà mis en application l'épuration biologique intensive. L'installation la plus importante est celle de *Wilmersdorf (fig. 7, Pl. 176)*, exécutée pour épurer les eaux de trois faubourgs de Berlin correspondant à environ 200 000 habitants. Cette installation comprend 8 bassins ou fosses septiques et 52 filtres percolateurs avec distribution par sprinkler rotatifs. Les Allemands étaient heureux de pouvoir la faire visiter aux Membres du Congrès International d'Hygiène, l'année dernière, à Berlin.

Les villes de *Essen*, *Hamburg*, *Posen*, *Brieg*, *Hagen*, etc., utilisent également l'épuration bactérienne.

Enfin, quelques installations fonctionnent aussi en *Belgique*, en *Russie*, en *Hollande*, en *Espagne* et au *Canada*.

S'il existe des désaccords, principalement en France, en ce qui concerne l'efficacité de la fosse septique, cela tient encore à d'autres causes.

Ainsi, certains fervents de l'épuration biologique n'ont pas craint de publier des taux d'épuration tellement avancée que dans la pratique elle n'a pu être atteinte ; alors les désillusions sont allées grossir les arguments des adversaires.

Certains Hygiénistes qui tiennent à reconnaître, comme l'inventeur de la fosse septique, le Français Mouras, en arrivent à ne plus faire de différence entre la fosse traitant les matières sous l'habitation et la fosse traitant des eaux d'égout. Ils ne tiennent pas compte d'une différence capitale qui existe entre ces deux cas et qui se traduit par des volumes et des séjours dans les milieux fermentescibles absolument différents.

Les adversaires de l'épuration biologique, apprenant que les fosses septiques produisaient des boues et qu'elles ne solubilisaient pas toutes les matières contenues dans les eaux d'égout, se sont mis à crier victoire. Il faut véritablement mettre de la bonne volonté pour espérer voir la fermentation en fosses septiques solubiliser des sables, graviers, matières diverses toujours entraînées dans les fosses.

Comme j'ai eu l'occasion de le rappeler au Congrès d'Hygiène International, à Berlin, pourquoi la solubilisation de la matière organique ne se produirait-elle pas par fermentation en fosses septiques ? Est-ce que nous n'assistons pas journellement, dans la Nature, à l'exécution de semblables phénomènes ? En favorisant le développement des travailleurs (en l'espèce les microbes), n'est-on pas en droit d'espérer un travail maximum ?

La réalité et l'efficacité des phénomènes analogues sont aujourd'hui bien démontrées par les découvertes de nombreux Savants, entre autres par *Dehérain* qui a prouvé la putréfaction des fumiers par fermentation due aux anaérobies ; par *Van Thiegen et Prasmowsky* qui ont trouvé les ferments de la cellulose ; par *Widnograsky* avec la fermentation anaérobie des glucoses ; enfin, par les travaux remarquables de *Schloesing et Muntz* démontrant la possibilité de destruction de certaines matières par les micro-organismes.

Bien entendu, on ne doit pas omettre dans ce chapitre les célèbres théories de Pasteur sur la fermentation.

Si l'épuration biologique est encore en retard en France, comme on le voit, ce n'est pas la faute de nos Savants ; la routine et les préjugés font que nous sommes souvent les derniers à bénéficier de leurs découvertes. En la circonstance, les Anglais, une fois de plus, ont montré qu'ils étaient avant tout pratiques.

L'efficacité réelle de la fermentation en fosses septiques est prouvée par la diminution de l'azote organique, par l'augmentation de l'azote ammoniacal et de certaines matières minérales, chaux, chlorures; elle est encore prouvée par la gazéification intense dont les effets se manifestent à la surface des liquides.

On ne peut objecter que le séjour dans les fosses n'est pas suffisant, car, il ne faut pas l'oublier, pour certaines matières, le séjour indiqué *normalement* n'est qu'une moyenne, après laquelle on a généralement constaté que la transformation de l'azote organique était suffisante et qu'il était plutôt nuisible qu'utile, pour l'oxydation ultérieure, de pousser plus loin la production d'ammoniaque. La durée de séjour doit s'entendre *surtout pour les liquides et non pour les matières*. La meilleure preuve de l'utilité de la fosse septique est donnée par les échecs subis à chaque fois qu'on a voulu traiter des eaux d'égout directement sur des filtres bactériens sans traitement préalable en fosse.

Bien entendu, si l'efficacité de la fosse est réelle, il ne faudrait pas en conclure qu'on doit uniformément la prévoir dans tous les cas. Il y a des eaux de certaine nature, telles que celles qui contiennent en forte proportion des matières minérales et peu de matières organiques, pas de matières fécales, qu'il sera avantageux d'envoyer après décantation directement sur les filtres bactériens.

J'ai démontré la possibilité d'un tel traitement dans une installation exécutée il y a deux ans à Tourcoing.

L'épuration biologique a le grand avantage d'être très élastique ; les divers dispositifs, décantation, fosse, aération, filtres, sont extrêmement variables et peuvent s'adapter à presque toutes les natures d'eau. C'est une propriété très importante que n'a pas le procédé de l'épandage.

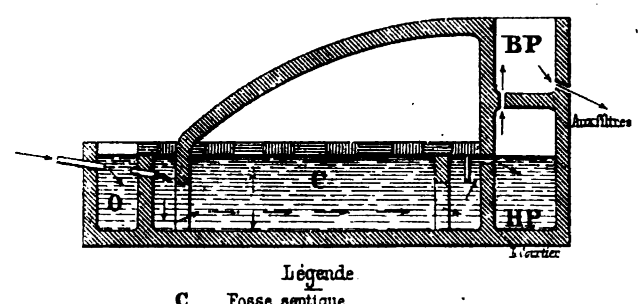
En terminant ce chapitre, j'ajouterai enfin que, s'il y a eu quelquefois des échecs, cela tient aux dispositifs défectueux employés, au mode de fonctionnement et aussi à la nature des eaux traitées ; nous verrons très certainement un exemple de ce genre prochainement, à Mont-Mesly, près Créteil, pour le traitement des eaux du Département de la Seine.

On a copié là les dispositifs de Manchester, sans tenir compte que ces dispositifs avaient été exécutés primitivement pour la précipitation chimique où ils avaient leur raison d'être.

En résumé, malgré les adversaires, l'application des fosses septiques se propage de jour en jour; il faut donc que les installations nombreuses assurant les services réguliers donnent de bons résultats. C'est encore les meilleures références en dehors des consécrations scientifiques officielles.

Expériences de Tsarkoe-Selo par M. Dzerszgowski.

Depuis la communication de M. Vincey, les adversaires des fosses septiques ont pu, sans doute, grossir leurs arguments d'un document qui pourrait avoir une certaine importance, si les expériences qui y sont relatées n'avaient pas été faussées par la base même. Je veux parler d'un rapport de M. Dzerszgowski, à l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg, sur les résultats



Légende
C — Fosse septique
HP — Bassin distributeur inférieur
BP — Bassin distributeur supérieur
O — Chambre à sable et de brassage

Fig. 7.

obtenus dans une installation faite à Tsarkoe-Selo *(fig. 7)*, pour traiter les eaux vannes provenant du personnel du Palais, soit environ trois cents personnes.

J'ai déjà eu l'occasion, au Congrès de l'Association pour l'Avancement des Sciences à Clermont-Ferrand, de réfuter les objections contenues dans ce rapport. Je les rappellerai ici en quelques mots seulement.

M. Dzerszgowski a fait deux séries d'expériences de 1902 à 1905.

Au début, la fosse comportait un espace libre au-dessus de la surface des liquides, et, dans la suite, cet espace était supprimé;

les liquides et matières touchant la voûte, dans les deux cas, il n'y avait aucune issue libre pour l'évacuation des gaz de la fermentation. Cette disposition est des plus nuisibles, car les milieux deviennent tellement toxiques que les microbes, entourés de ces gaz nocifs, sont comme anesthésiés et ne produisent plus aucun travail.

D'autre part, la fosse septique avait à traiter des matières fraîches, presque aussitôt après leur excrétion; il aurait fallu lui donner une capacité beaucoup plus grande que celle équivalente à la production journalière de 40 m³; sa capacité utile aurait dû être sept à huit fois supérieure à ce volume. On voit, dès maintenant, l'erreur capitale qui a été commise. Les matières étaient à l'état solide : on fut obligé de les désagréger mécaniquement, ce qui ne transformait pas l'azote organique en azote ammoniacal.

Ces expériences ne peuvent donc être opposées sérieusement aux arguments en faveur de la fosse septique.

Pourtant, le rapport de M. Dzerszgowski nous offre, à certains points de vue, des renseignements très intéressants.

Il contient notamment une analyse approfondie des résultats obtenus et publiés par M. le docteur Calmette, à Lille.

Reproduisant, entre autres, les tableaux publiés dans le premier volume (pages 31 et 40) pour montrer le taux des matières organiques dissoutes en fosses septiques et le taux du carbone organique, il est dit dans ce rapport :

« Ces taux du carbone organique sont absolument impossibles, » car des matières organiques dont la teneur en carbone serait » inférieure à 20 0/0 sont inadmissibles théoriquement et n'existent point effectivement dans la nature ».

Fosses septiques appliquées aux habitations.

En terminant, je dirai quelques mots sur les petites fosses septiques appliquées aux habitations; je ne veux que les rappeler pour mémoire et dire que les objections qu'on a soulevées contre elles ces temps derniers ne sont pas toujours justifiées. *M. Laveran*, l'éminent Rapporteur de la question des fosses septiques devant le Conseil d'Hygiène du Département de la Seine, déclarait notamment : « Le seul résultat pratique obtenu par » l'emploi des fosses septiques est la désagrégation ou la liqué-

» faction des matières solides, résultat qui a, d'ailleurs, son im-
» portance. »

La question ayant trait à l'admission ou au rejet de ces fosses et appareils analogues n'est pas définitivement solutionnée; elle est encore pendante devant le Conseil d'Hygiène de la Seine.

M. Bonjean, chef du laboratoire du Conseil Supérieur d'Hygiène de France disait, dans la séance du 4 novembre 1907 : « Évacué
» directement dans les égouts d'une ville, l'effluent des fosses
» septiques n'est pas plus contaminable que l'eau du tout à l'é-
» gout chargée elle-même de matières fécales fraîches... Les
» fosses septiques complétées ou non par des systèmes efficaces
» d'oxydation peuvent rendre de signalés services... C'est éviter
» le transport et le contact répugnant et insalubre de matières
» fécales, c'est empêcher la contamination du sous-sol des mai-
» sons, c'est préserver le puits souvent situé près de l'habita-
» tion, c'est, en résumé, contribuer au progrès de l'hygiène et à
» la protection de la santé publique. »

Déjà en 1890, à Bordeaux, des appareils similaires avaient donné lieu à des conclusions favorables de la part de *MM. Blarez*, chimiste, professeur à la Faculté, et *Gérard*, Ingénieur en chef de la Ville, qui déclaraient que l'effluent des fosses septiques pouvait être admis, sans inconvénient, dans les égouts.

CONCLUSIONS

La présente discussion devant avoir pour but de démontrer la réelle efficacité de l'épuration biologique intensive et de mettre en parallèle les résultats des deux méthodes, je me contenterai, sous forme de conclusion, de rappeler en quelques mots les avantages et les inconvénients de chacun.

1° En ce qui concerne l'épandage, l'un des principaux arguments invoqués en sa faveur, en dehors du degré d'épuration obtenu, est celui de la plus-value des terrains irrigués et de la valeur des engrais ainsi utilisés. Ceci ne peut être vrai, bien entendu, que si l'irrigation est subordonnée aux besoins de la culture. Tous ceux qui ont l'expérience de ces questions vous diront alors que, dans ce cas, il faudrait pouvoir disposer de sur-

faces de terrains considérables, bien supérieures aux possibilités actuelles.

D'autre part, si l'on nous cite les plus-values de certains terrains, on se garde bien de nous citer les moins-values de beaucoup d'autres, de ceux placés notamment auprès des régions irriguées, de ceux placés sur les rives de la Seine, le plus souvent pollués par suite de faute inhérente au système. Enfin, on ne nous parle pas de la moins-value de la propriété bâtie à proximité de ces terrains, qui doit se chiffrer par des sommes très élevées.

Avec le procédé de l'épandage, on ne sait jamais exactement à quoi l'on s'engage; il est impossible de connaître la nature de la totalité des terrains, surtout lorsqu'il s'agit de surfaces énormes, on n'est jamais certain de ne pas contaminer des nappes souterraines. C'est un système livré, pour ainsi dire, au hasard.

En 1885, Durand-Claye déclarait (*Annales des Ponts et Chaussées*) que les légumes cultivés sur les terrains d'épandage étaient avantageusement vendus dans les Halles et marchés publics.

Aujourd'hui, après une longue et funeste expérience, des décrets ministériels de 1902 interdisent la vente des légumes destinés à être mangés crus et provenant de ces mêmes terrains (les autres légumes étant purifiés par la cuisson).

Je ne conteste pas le moins du monde les chiffres concernant le degré d'épuration fournis par M. Vincey, et encore moins la possibilité de pouvoir obtenir sur certains terrains d'épandage des résultats plus parfaits que ceux *généralement obtenus* dans les installations *pratiques* d'épuration intensive; mais je me refuse à croire à la constance de ces résultats et à les considérer comme le coefficient véritable de l'épuration;

2° Dans la méthode d'épuration biologique intensive, au contraire, on peut calculer d'avance la dépense à laquelle on s'engage; on peut avoir la certitude de pouvoir épurer un volume donné et arriver approximativement à tel résultat, et cela d'une façon régulière et continue.

On ne risque pas de contaminer les nappes souterraines; on peut toujours envoyer à la rivière un effluent suffisamment épuré pour subir efficacement les phénomènes connus de l'auto-épuration.

Avec cette méthode, on tient le mal, on le canalise; on en est presque le maître; on peut, à chaque instant, s'il le faut, par une action complémentaire, produire une épuration plus

avancée. En un mot, c'est un procédé scientifiquement conduit, suivant les lois qui régissent les phénomènes de fermentation, oxydation et nitrification mis en œuvre.

Quant à la valeur fertilisante accordée aux eaux d'égout, il est clair qu'on peut l'obtenir aussi avec l'épuration intensive, puisqu'elle a pour but de former des nitrates, par conséquent un effluent plus assimilable que l'eau brute et qui n'offre pas les dangers de cette dernière.

Les personnes qui, à Paris, auront la responsabilité du choix entre les deux systèmes, qui auront à justifier leur préférence, diront s'il vaut mieux adopter un procédé reposant sur la composition uniforme de vastes terrains, sur la bonne volonté des gens et aussi sur celle du temps, qu'un système basé sur des phénomènes scientifiques, universellement reconnus, qui a fait ses preuves et dont la marche n'est pour ainsi dire subordonnée à rien autre qu'à la volonté de l'homme.

Dans un rapport au Conseil Supérieur d'Hygiène de France sur l'épuration biologique intensive, *M. Bonjean*, chef du laboratoire, déclarait le 4 novembre 1907 : « Nos résultats, de même que » ceux du *docteur Hanriot et du docteur Ogier*, sur la qualité de » l'eau épurée dans les conditions de marche de l'installation de » Clichy, sont analogues et aussi satisfaisants que ceux reconnus » dans la plupart des installations d'épuration existant actuelle- » ment... Les eaux épurées biologiquement provenant d'instal- » lations bien comprises et bien dirigées ne peuvent, en effet, » occasionner aucune nuisance : elles ne contiennent rien en » suspension, ne possèdent pas d'odeurs, ne renferment pas de » substances réductrices ni de produits toxiques au sens prati- » que du mot ; l'existence des poissons ne saurait être en jeu, » les eaux ainsi épurées étant plus propres que la plupart des » eaux dans lesquelles ils vivent. »

Je n'ajouterai rien à de tels arguments et je termine en souhaitant que ces discussions puissent faciliter la solution des problèmes posés en vue de l'assainissement des villes et de toutes agglomérations.

LES

MOTEURS A GAZ DE GRANDES PUISSANCES

PAR

M. L. LETOMBE

Le moteur à gaz a fait depuis trente ans des progrès extrêmement rapides. Pour en juger, il suffit de rappeler ce qu'on pensait de ces machines à leur début. Nous trouvons, par exemple, dans les Bulletins mêmes de la Société des Ingénieurs Civils, que M. Levassor, qui plus tard devait passer maître dans la construction des moteurs à explosion, avait annoncé, au grand étonnement de ses collègues dans la séance du 15 février 1878, que le mécanicien allemand Otto se proposait de construire un moteur à gaz de 15 à 18 ch, mais il se hâtait d'ajouter que ce n'était probablement qu'à titre d'exception !

Aujourd'hui il se construit couramment des moteurs à gaz de 1 000, 2 000 et même de 3 000 ch, et, si le besoin se faisait sentir de faire des machines plus puissantes encore, rien ne s'opposerait à leur réalisation.

Ce sont les travaux de recherches du regretté M. Delamarre qui contribuèrent le plus au développement des moteurs de grande puissance.

Dès 1889, il faisait figurer à l'Exposition universelle un moteur de 100 ch à gaz pauvre, se composant d'un seul cylindre à simple effet. On avait déjà fait à cette époque des moteurs de 100 ch à quatre cylindres, mais ce que recherchait l'inventeur par l'emploi d'un cylindre de grand diamètre, c'était une amélioration de rendement : il pensait, en effet, que la réduction de l'étendue de la surface des parois par rapport au volume des cylindres, réduction qui est d'autant plus importante que les dimensions deviennent plus grandes, aurait permis de reporter utilement sur le cycle du moteur la chaleur gagnée à la paroi.

Il constata avec étonnement qu'à compression égale, les rendements des petits et des gros moteurs restaient pratiquement les mêmes.

L'expérience ne fut pas perdue néanmoins, car elle servit à démontrer péremptoirement qu'on pouvait, sans inconvénient, augmenter le diamètre des cylindres des moteurs à gaz.

Quelques années plus tard, M. Delamarre fit un moteur de 300 ch et enfin, en 1900, la puissante Société Cockerill construisit sur ses données un moteur de 600 ch effectifs qui figura à l'Exposition universelle.

Ce moteur à simple effet avait un cylindre de 1,300 m d'alésage. On n'a pas encore fait plus grand aujourd'hui comme dimension de cylindre.

Cette réalisation hardie décida de l'avenir des grands moteurs à gaz. Les constructeurs, qui tout d'abord imitèrent la Société Cockerill, s'aperçurent vite que, pour obtenir une régularité suffisante pour la commande de génératrices électriques, par exemple, les moteurs à cylindre unique à simple effet ne pouvaient convenir.

On eut alors recours à des groupements de plusieurs cylindres sur le même arbre. On fit d'abord des moteurs à cylindres parallèles dont les pistons étaient actionnés par des manivelles marchant ensemble. En croisant les temps pour les deux cylindres, on obtient ainsi un coup par tour. La disposition est excellente et est encore très employée pour des moteurs de moyenne puissance.

On fit aussi des moteurs à cylindres opposés, les bielles des pistons actionnant un même coude de l'arbre. Avec ce dispositif, on a encore deux coups moteurs en deux tours, mais ces deux coups se suivent dans le même tour, ce qui, au point de vue de la régularité, ne vaut pas la disposition avec cylindres parallèles. Par contre, on gagne ainsi un peu sur le prix de la construction.

Ces groupements ne donnant pas encore une régularité suffisante, on arriva vite aux moteurs à quatre cylindres formés de deux lignes de cylindres en regard, disposés de part et d'autre du volant et avec arbre à deux coudes à 180 degrés. Toutes les courses étant motrices, on avait ainsi autant de régularité qu'avec une machine à vapeur ordinaire à double effet, mais ce genre de moteur coûtait très cher de construction, était d'un montage très difficile, tenait une place considérable et avait un ren-

dement mécanique assez médiocre. De plus, la surveillance de la distribution de quatre cylindres séparés était une difficulté pour le conducteur de la machine.

Pendant ce temps, et dès le début de nos études sur les moteurs à gaz, nous avions cherché la solution du problème dans la construction de moteurs à double effet, et plus généralement de moteurs à effets multiples. Dans les ouvrages allemands, on affecte de dire que le premier moteur à cylindre fermé capable d'un service industriel fut le moteur Kœrting, à deux temps, construit en 1902. A cette date, notre premier moteur à double effet était construit depuis dix ans et, dès 1895, nous avions fait un moteur double effet tandem, machine qui est encore en service aujourd'hui. Du reste, en 1897, à l'Exposition de Bruxelles, nous avions exposé un moteur à double effet qui y obtint le Grand Prix des moteurs à gaz et, à l'Exposition de 1900, nous avons obtenu la même récompense pour notre installation à gaz pauvre, qui comprenait un moteur triplex de 200 ch. D'ailleurs, MM. Witz, Hubert, Marchis, etc., ont bien voulu, dans leurs ouvrages, nous rendre cette justice que nous avions montré la voie à suivre pour la réalisation des grands moteurs.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'après l'Exposition de 1900 tous les constructeurs abandonnant les préjugés qui leur avaient fait donner exclusivement la préférence aux moteurs à simple effet comme seuls admissibles, se mirent à étudier des moteurs à double effet et double effet tandem. Aujourd'hui, pour des puissances supérieures à 250 ch, on peut dire qu'il ne s'en construit plus d'autres, et les puissances réalisées deviennent de plus en plus considérables.

Il faut, du reste, remarquer qu'en adoptant simplement les dimensions de cylindre du moteur Cockerill de 1900, on ferait avec deux moteurs double effet tandem jumelés facilement 5 000 ch. On peut donc dès maintenant faire des machines de puissances considérables sans crainte de tomber dans l'inconnu ; mais nous devons ajouter qu'au point de vue du rendement thermique, il n'y a pas intérêt à exagérer la puissance des moteurs à gaz. Tout dépend de l'importance des stations qu'on veut établir : la puissance des machines doit être calculée de façon à ne pas avoir trop d'unités à surveiller en même temps dans la même salle.

Le grand avantage des moteurs à effets multiples, c'est avant tout la régularité. Théoriquement, il est toujours possible d'ob-

tenir le degré de régularité à atteindre par l'emploi d'un volant convenablement calculé : pratiquement, il y a des dimensions et des poids qu'on ne saurait dépasser.

Les lourds volants fatiguent du reste inutilement les arbres et coûtent cher.

Afin de bien mettre en lumière les différences de poids de volant nécessités pour obtenir à puissance égale une même régularité suivant le type de machine adopté, nous donnons ci-dessous un tableau comparatif pour l'établissement duquel nous avons eu recours à la méthode graphique universellement employée aujourd'hui, méthode qui tient compte de l'inertie des pièces en mouvement dont l'importance est considérable dans les grands moteurs à gaz.

Pour fixer les idées, nous avons désigné par 100 le poids du volant satisfaisant à une certaine régularité, qui est supposée être la même pour tous les types de moteurs considérés.

POIDS RELATIF DES VOLANTS	TYPES DE MACHINES DE MÊME PUISSANCE ET DE MÊME RÉGULARITÉ
100	Moteur à simple effet à quatre temps.
60	Moteur à deux cylindres à simple effet en opposition; Ou moteur à simple effet jumelé avec manivelles calées à 180 degrés; Ou moteur à double effet à quatre temps.
40	Moteur à deux cylindres à simple effet jumelé; Ou moteur à deux cylindres à simple effet tandem à quatre temps; Ou moteur à simple effet à deux temps.
32	Moteur triple-effet tandem à quatre temps.
24	Moteur à trois cylindres avec manivelles à 120 degrés à quatre temps.
16	Moteur triplex jumelé à quatre temps.
8	Moteur à quatre cylindres, ou double effet tandem, ou moteur double effet jumelé à quatre temps; Ou moteur double effet à deux temps.
0,25	Moteur double effet tandem jumelé à quatre temps; Ou moteur double effet jumelé à deux temps avec manivelles à 90 degrés.

On voit que le poids du volant d'un moteur double effet tandem simple ou jumelé pourrait être très réduit. Pourtant, en pratique, il est bon de ne pas aller trop loin dans la réduction, surtout lorsque les moteurs sont destinés à commander directement des alternateurs calés sur les arbres et que ces alternateurs doivent pouvoir être couplés en parallèle, car il ne faut pas qu'une défaillance momentanée dans un allumage, par exemple, puisse amener des troubles dans la marche. En fait, on doit établir les volants dans ce cas, pour que l'irrégularité par tour ne dépasse pas 1/200e.

Il n'y a pas lieu d'envisager le cas où il se produirait véritablement des ratés répétés dans l'allumage, car nous estimons qu'alors il s'agit d'une machine déréglée, qu'il est préférable d'arrêter. Il est évident, d'ailleurs, que la principale préoccupation d'un conducteur de moteur à gaz doit être de tenir toujours en état parfait de fonctionnement les inflammateurs et les organes d'allumage de la machine dont il a la surveillance.

Au point de vue de la sécurité de marche, l'emploi des magnétos à basse tension avec rupture du courant à l'intérieur même des cylindres a marqué un progrès considérable.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

La théorie des moteurs à combustion interne est aujourd'hui suffisamment bien établie pour permettre de calculer avec exactitude les dimensions à donner à une machine en vue d'une puissance déterminée à obtenir, lorsqu'on connaît la composition, le pouvoir calorifique du combustible à employer, et le cycle suivant lequel ces gaz doivent évoluer.

Inversement, le calcul permet de reconnaître si une machine construite rend bien tout ce qu'elle peut donner.

C'est au Congrès de Mécanique de l'Exposition de 1900 que nous avons établi pour la première fois les formules qui permettent de faire simplement ces calculs, particulièrement intéressants pour les grands moteurs. Nous avons, depuis, complété notre étude, de façon à envisager tous les cycles réalisés ou réalisables (1).

(1) Contribution à l'Étude des moteurs thermiques, Dunod et Pinat, éditeurs, 49, quai des Grands-Augustins, Paris.

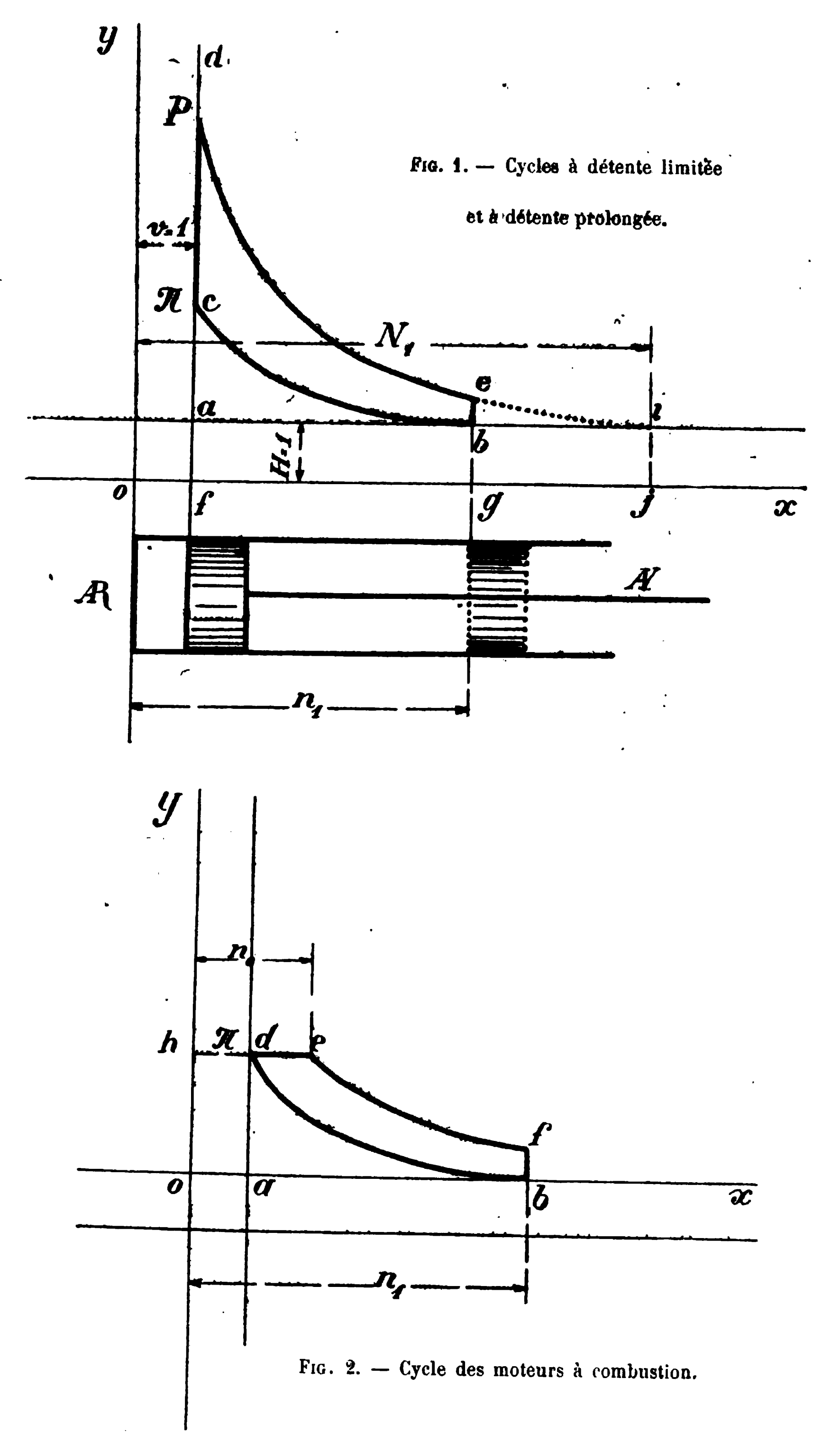


Fig. 1. — Cycles à détente limitée et à détente prolongée.

Fig. 2. — Cycle des moteurs à combustion.

Comme l'exposé de ces études nous entraînerait trop loin, nous nous contenterons ici de faire quelques remarques sur les cycles et de donner les principales formules qui sont devenues d'un usage courant. Nos formules sont absolument générales, parce que nous avons eu soin de n'y faire figurer que des rapports. C'est ainsi que nous exprimons toujours le volume des cylindres en fonction des volumes des chambres de compression pris pour unités.

Nous prenons également pour unité de pression la pression atmosphérique, et pour unité de température, la température des mélanges gazeux au commencement de la compression, etc.

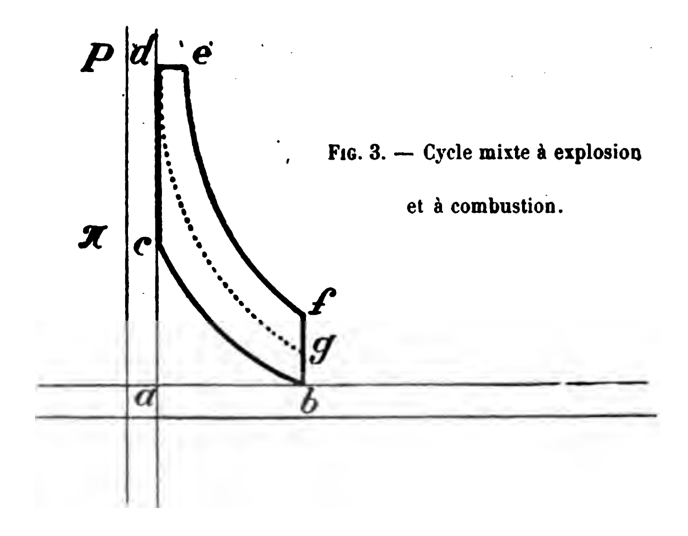


Fig. 3. — Cycle mixte à explosion et à combustion.

Nous avons désigné par η_1 le nombre de fois que le volume total d'un cylindre contient le volume de la chambre de compression : c'est ce que nous avons appelé le *rapport volumétrique de compression*, valeur qu'il est dans tous les cas indispensable de connaître.

Les cycles les plus intéressants à considérer sont : le cycle Beau de Rochas (A) à détente limitée au volume d'aspiration (*b*, *c*, *d*, *e*, *b*), le cycle à détente prolongée (C) *(i, b, c, d, i)* *(fig. 1)*, le cycle à combustion (B) *(b, d, e, f)* *(fig. 2)*, et le cycle mixte (D) *(fig. 3)*. Ces deux derniers à détente limitée, comme le premier.

Les rendements thermiques de ces cycles sont donnés par les formules suivantes :

$$\text{(Cycle A)}\quad \rho_1 = 1 - \frac{n_1}{n_1^\gamma} \text{ ou } \rho_1 = 1 - \frac{n_1}{\pi}, \qquad [1]$$

$$\text{(Cycle B)}\quad \rho_2 = 1 - \frac{1}{\gamma}\frac{n_0^\gamma - 1}{n_0 - 1}\frac{n_1}{n_1^\gamma}, \qquad [2]$$

$$\text{(Cycle C)}\quad \rho_3 = 1 - \frac{N_1 - n_1}{N_1^\gamma - n_\gamma^1} \text{ ou } \rho_3 = 1 - \frac{N_1 - n_1}{P - \pi}, \qquad [3]$$

$$\text{(Cycle D)}\quad \rho_4 = \alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2. \qquad [4]$$

Le cycle A est le plus ordinairement employé : c'est le cycle dit « à explosion ».

Le cycle B est celui des moteurs genre Diesel : c'est le cycle dit « à combustion ».

A *compression* et *puissance calorifique* de mélange tonnant égales, le cycle C donne le *maximum* de rendement qui puisse être obtenu d'un moteur à combustion interne : il a l'inconvénient de nécessiter pour une puissance déterminée des cylindres très volumineux.

Le cycle C prend naissance dans les réglages par admission variable d'un mélange constant : il contribue, dans ce cas, à atténuer la diminution de rendement qui résulte de l'abaissement de la compression.

Le cycle D est le plus avantageux à employer pratiquement pour obtenir d'un moteur le maximum de puissance. Il se compose de deux cycles A et B superposés.

Dans les formules ci-dessus, π représente la valeur de la compression, P celle de l'explosion, n_0 la longueur de la combustion à pression constante, et γ le rapport des chaleurs spécifiques qui varie de 1,3 à 1,35, suivant la nature des gaz employés.

α_1 et α_2, dont la somme est égale à l'unité, représentent les proportions de chaleur respectivement attribuables aux cycles composant le cycle D.

Fait remarquable : une combustion, même courte, absorbe une quantité considérable de chaleur et permet, par conséquent, d'avoir de très gros diagrammes sans avoir des pressions d'ex-

plosions exagérées. Dans ce cas, le rendement, par rapport à un cycle simplement à explosion, diminue, mais d'une façon peu appréciable si la combustion est courte. Aussi, dans la plupart des cas, et pour une première approximation, suffit-il de calculer les rendements par la formule [1].

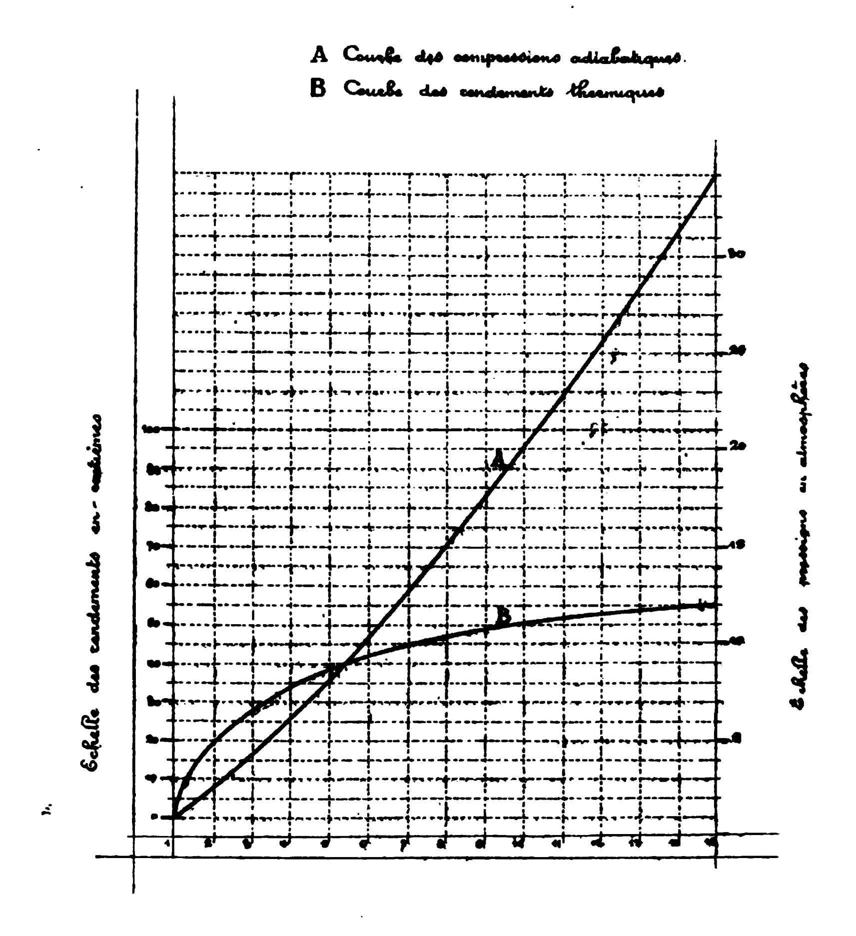


Fig. 4. — Courbe du rendement thermique des moteurs à explosion en fonction des compressions.

Cette formule montre que le rendement croît avec l'augmentation de la compression, mais pas proportionnellement à cette dernière valeur.

Nous avons tracé *(fig. 4)* la courbe des rendements en fonction de la compression. On voit nettement qu'à partir de $\tau = 13$ atm

environ, il n'y a plus grand'chose à gagner et il faudrait monter notablement plus haut pour y trouver un avantage.

Cette remarque théorique est absolument d'accord avec les faits pour les cycles à explosion,

Si on compare les formules [1] et [2], on voit que l'expression $\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{n_0 \gamma - 1}{n_0 - 1}$ est un terme de réduction pour la valeur du rendement. Ceci explique pourquoi on n'obtient d'un cycle à combustion un rendement aussi élevé que ceux donnés par les cycles à explosion, qu'en augmentant les compressions jusqu'à des valeurs qui dépassent même les pressions d'explosion.

Les valeurs données par les formules [1], [2], [3], [4], ont besoin, pour les applications, d'être affectées de coefficients de réduction permettant de tenir compte de la nature des gaz et de certaines imperfections inhérentes à la construction même des machines.

En travail effectif, le coefficient est de 0,65 lorsqu'on part d'un combustible gazeux, et de 0,52 en partant d'un charbon à gazéifier dans un gazogène.

Le tableau ci-après donne les résultats trouvés, en même temps que les consommations qui correspondent à chaque cas particulier en calories gaz, en gaz de ville, en calories charbon et en charbon à 8 000 calories.

Ce tableau permet de vérifier à nouveau que, si au-dessus d'une compression de 13 atm les rendements continuent à croître, cet accroissement est de plus en plus faible.

On ne fait d'ailleurs pas ce que l'on veut avec les compressions.

L'emploi du gaz à l'eau ne permet guère de comprimer à plus de 4 atm ; avec le gaz de ville, il est prudent de ne pas dépasser 6 atm ; avec un gaz pauvre à plus de 20 0/0 d'hydrogène, 9 atm ; avec un gaz pauvre à 10 0/0 d'hydrogène, 13 atm, et avec un gaz de haut fourneau, 15 atm.

Il nous reste à dire un mot du calcul des dimensions à donner aux cylindres des machines ou du calcul de la puissance possible d'une machine donnée.

Le principal terme à connaître, dans ce cas, est la pression moyenne des diagrammes réalisables, en tenant compte de la nature des gaz employés.

Lorsqu'on a choisi n_1, ainsi que la pression d'explosion P,

TABLEAU I.

Consommations par cheval-heure effectif des moteurs à gaz en fonction du rapport volumétrique de compression.

RAPPORT volumétrique de compression	Valeur des compressions		Rendement théorique 0/0	CONSOMMATION PAR CHEVAL-HEURE EFFECTIF				
				EN GAZ		EN CHARBON		
	en atmosphères	effectives en kg (pression atmosph. non comp.)		en calories (1)	en litres de gaz à 5 500 calories	en calories	en grammes de charbon	
							à 7 200 calories	à 8 000 calories
1,5. .	1,7	0,64	11,3	8 650	1 572	11 750	1 632	1 405
2. . .	2,46	1,38	18,5	5 280	960	7 150	992	894
2,5. .	3,46	2,35	23,5	4 160	756	5 640	783	705
3. . .	4,17	3,02	28	3 490	635	4 740	658	592
3,5. .	5,1	3,84	31	3 150	573	4 275	594	535
4. . .	6,06	4,85	34	2 875	524	3 895	540	495
4,5. .	7,06	5,82	36	2 715	496	3 680	512	460
5. . .	8,1	6,82	38	2 570	467	3 490	485	436
5,5. .	9,17	7,85	40	2 440	445	3 310	460	388
6. . .	10,3	9	41	2 380	434	3 230	448	404
6,5. .	11,4	10	43	2 270	414	3 080	428	385
7. . .	12,54	11,2	44,2	2 210	402	3 000	417	375
7,5. .	13,72	12,2	45,2	2 165	394	2 935	407	366
8. . .	15	13,5	46,5	2 100	382	2 850	396	356
8,5. .	16,15	14,6	47,3	2 070	377	2 800	389	351
9. . .	17,4	15,85	48,3	2 030	370	2 740	381	343
9,5. .	18,66	17	49	2 000	364	2 705	376	338
10 . .	20	18,35	50	1 950	355	2 650	368	331
11 . .	22,6	21,8	51,3	1 900	346	2 580	358	322
12 . .	25,2	23,4	52,4	1 870	340	2 530	352	316
13 . .	28	26,1	53,6	1 820	332	2 475	344	309
14 . .	31	29	54,8	1 780	324	2 415	337	304
15 . .	33,8	31,7	55,5	1 760	320	2 390	332	299
16 . .	36,7	34,5	56,4	1 735	316	2 350	326	295
17 . .	39,7	37,4	57,2	1 700	310	2 315	324	291
18 . .	42,8	40,4	58	1 675	307	2 285	318	286
19 . .	46	43,5	58.6	1 670	304	2 265	315	284
20 . .	49	46,4	59,1	1 655	301	2 240	311	280

(1) Les liquides tels que le pétrole, l'essence et le benzol ayant un pouvoir calorifique moyen en calories de 10 000 environ, on obtient les consommations en grammes par cheval de ces combustibles en divisant par 10 les chiffres de cette colonne.

qu'on ne veut pas dépasser, la pression moyenne, dans le cas du cycle A, est donnée par la formule :

$$p_m = \rho_1(\gamma - 1)\frac{P - \pi}{n_1 - 1}. \qquad [5]$$

Pour un cycle B, cette formule devient :

$$p_m = \rho_2 \frac{(n_0 - 1)\pi}{n_1 - 1} \frac{\gamma}{\gamma - 1}. \qquad [6]$$

Quant à la pression moyenne maximum que peut donner un gaz de composition et de pouvoir calorifique déterminés, on l'obtient par la formule :

$$p_m = \rho \frac{425\,Q}{10\,000}.$$

Q, dans ce cas, est le nombre de calories contenues dans 1 m³ de mélange tonnant, sans excès d'air, mais en tenant compte des gaz résiduaires des chambres d'explosion, de la température du gaz à fin d'admission, de la contraction résultant de la combustion et du degré de remplissage des cylindres.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs calculées pour les gaz les plus usuels.

TABLEAU II.

Maximum des pressions moyennes pour des cycles à explosion.

POUVOIR CALORIFIQUE des gaz	NATURE DES gaz	VALEUR DE n_1	POUVOIR MAXIMUM du mélange	P_m INDIQUÉES
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
5 000 . . .	gaz de distillation	4	590	6,21
2 600 . . .	gaz à l'eau	4	605	6,40
1 200 . . .	gaz pauvre	7	467	6,35
950. . . .	gaz de haut fourneau	8	436	6,27

Les chiffres de ce tableau ne doivent être considérés que comme des moyennes; néanmoins les valeurs *pm* sont très approchées de celles qu'on peut obtenir dans la pratique.

Il est remarquable de constater que les chiffres de la cinquième colonne sont très voisins les uns des autres, alors que les chiffres de la première colonne sont très différents. Ceci tient à ce que les compressions possibles ne sont pas les mêmes pour les gaz riches que pour les gaz pauvres.

Quant au calcul de la puissance indiquée des machines, rapportée à *une seule face de piston*, on l'effectue facilement par la formule suivante :

$$\mathfrak{T} = \frac{S \times p_m \times V_m}{300} z.$$

S étant la surface du piston en centimètres carrés, V_m la vitesse moyenne du piston en mètres par seconde, z un coefficient de réduction pour tenir compte de la section des tiges du piston quand il y en a.

z est égal à 0,97 pour un double effet, 0,95 pour un triple effet et 0,93 pour un double effet tandem.

Détails de construction des grands Moteurs à gaz.

Les difficultés rencontrées dans la construction des grands moteurs à gaz ont été causées surtout par un refroidissement insuffisant ou inégal des cylindres et des pistons.

Comme, pour un moteur donné, la somme des chaleurs perdues à la paroi et à l'échappement est très sensiblement une constante quel que soit le régime de refroidissement des enveloppes, on a tout à gagner, tant au point de vue de la sécurité de marche qu'au point de vue du rendement mécanique, à refroidir sans ménagement toutes les parties d'un moteur qui tendent à s'échauffer.

Or, les grands cylindres sont plus difficiles à refroidir que ceux de petites dimensions pour deux raisons :

1° Parce que les surfaces par rapport aux volumes sont plus réduites;

2° Parce que les augmentations de diamètre entraînent évidemment une augmentation de l'épaisseur des parois.

Il s'ensuit que même en faisant circuler beaucoup d'eau dans les enveloppes de manière que l'élévation de température

au-dessus de la température ambiante ne dépasse pas 15 à 20 degrés, il subsiste certainement une différence de température considérable entre les parois interne et externe des cylindres (1). Si alors certaines parties sont mal refroidies, le métal est soumis à des dilatations inégales qui amènent fatalement des ruptures.

Il faut d'autre part recourir à des artifices pour ne pas avoir des parois de cylindres trop épaisses, car suivant le nombre de tours adopté pour le moteur et la température de l'eau de réfrigération, on arrive toujours à une dimension limite au delà de laquelle le refroidissement devient tout-à-fait insuffisant.

On a alors un graissage imparfait et bientôt des allumages anticipés qui gênent la marche et causent quelquefois des ruptures d'organes. Aussi, a-t-on pris le parti, maintenant, de refroidir dans les grands moteurs à gaz, non seulement les cylindres, mais encore les pistons, les tiges de pistons et les soupapes.

Pour les cylindres, on prend même la précaution de conduire par des tuyaux intérieurs l'eau jusqu'aux endroits les moins accessibles des enveloppes, car, en ne se servant pour la circulation d'eau que d'une entrée et d'une sortie, il s'établit toujours un passage direct qui donne un refroidissement très inégal.

Il est évident, d'autre part, qu'il faut éviter les formes de pièces susceptibles de donner naissance à des tensions initiales par retrait de fonderie. Cette dernière remarque est trop générale pour que nous ayons besoin de nous y arrêter.

C'est en vain que, pour remédier à des formes défectueuses, certains constructeurs substituèrent dans leurs machines l'acier coulé à la fonte : les résultats obtenus furent plutôt encore moins bons. On a essayé, en particulier, de faire des cylindres entièrement en acier coulé pour éviter des ruptures, mais comme ce métal donne un frottement très défectueux, on fut alors obligé de garnir les cylindres, sur toute l'étendue de leur alésage, d'une chemise mince en fonte. Cette construction, très difficile, augmentait sensiblement le prix de revient des machines, et la double épaisseur des parois rendait le refroidissement presque impossible.

En fait, lorsqu'un cylindre est bien étudié, on peut l'exécuter en fonte, sans crainte d'avarie. Ce qu'il faut éviter, ce sont les surépaisseurs de fonte dans les chambres d'explosion et des

(1) *Comment s'exerce l'action de paroi dans les moteurs à combustion interne*, par L. Letombe. — Bulletin de novembre 1905.

enveloppes d'eau trop étroites ou présentant des cavités dans lesquelles l'eau ne saurait circuler aisément.

Pour éviter des tensions initiales de fonderie, il y a intérêt, pour les cylindres de grand diamètre, à répartir uniformément sur leur surface tous les orifices ou lumières dont ils doivent être garnis. Mais il n'y a là qu'une difficulté de fonderie à vaincre, et quand la pièce est exécutée sans qu'on y ait rencontré de défaut, il n'y a rien à craindre, si toutefois le refroidissement est bien assuré, même quand, par exemple, l'admission et l'échappement se font par un seul orifice.

Cette dernière disposition est très avantageuse à employer pour des moteurs dont les cylindres ne dépassent pas 600 mm d'alésage. Sur le continent, on préfère placer les boîtes d'admission et d'échappement en regard aux extrémités d'un même diamètre vertical, suivant l'usage adopté dans la construction des machines à vapeur à soupapes. Les soupapes d'admission se trouvent alors placées au-dessus des cylindres, et les soupapes d'échappement au-dessous.

On pourrait tout aussi bien, comme nous l'avons fait longtemps, placer les boîtes aux extrémités d'un même diamètre horizontal (*fig. 5 et 6*, et *fig. 1*, *Pl. 176*). Dans ces conditions, le démontage des soupapes est particulièrement facile, tandis que cette opération est au contraire souvent assez laborieuse quand les boîtes sont disposées au-dessus et au-dessous des cylindres. L'inconvénient des boîtes latérales, c'est de ne pas permettre une réduction suffisante du volume des chambres d'explosion pour arriver aux fortes compressions adoptées aujourd'hui, à cause de l'importance du volume des conduits reliant les boîtes aux cylindres.

Les pistons, dans ce cas, doivent approcher très près des fonds et, au moment de l'allumage, le mélange comprimé se trouve divisé en deux parties éloignées l'une de l'autre, ce qui nuit à la propagation de l'onde explosive.

On remédie à ce désavantage en déterminant l'allumage de la charge à la fois dans les deux boîtes par deux inflammateurs distincts fonctionnant en même temps. L'importance du double allumage pour les chambres de compression très étendues est telle que, si l'on arrête momentanément le fonctionnement de l'un des deux inflammateurs, on voit nettement, par une réduction de la surface des diagrammes, qu'une partie du mélange passe alors à l'échappement sans avoir brûlé.

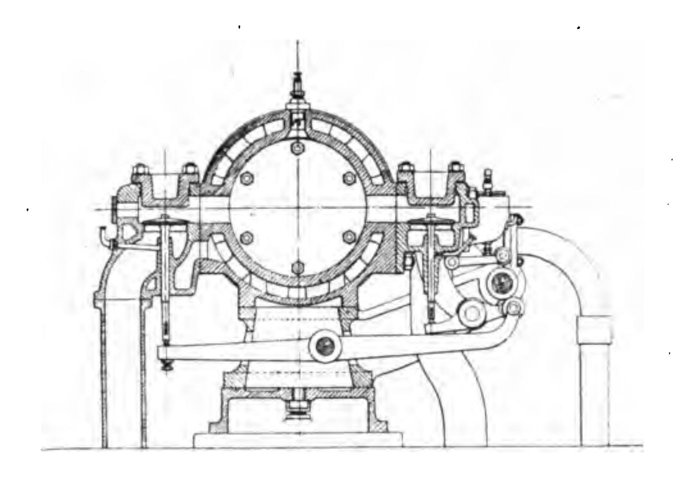


Fig. 5. — Coupe d'un moteur à soupapes opposées.

Fig. 6. — Vue arrière d'un moteur à soupapes opposées.

Avec les soupapes placées au-dessus et au-dessous des cylindres, on atténue cet effet, parce que les conduits et la capacité des boites peuvent ainsi être plus réduits, mais l'inconvénient subsiste néanmoins, surtout lorsque, comme on le fait souvent pour éviter de trop découper les cylindres, les soupapes sont laissées à quelque distance de l'alésage. Pour ces raisons, même avec des soupapes placées au-dessus et au-dessous des cylindres, l'allumage double est à recommander.

Lorsque les cylindres ne sont percés que d'un seul orifice

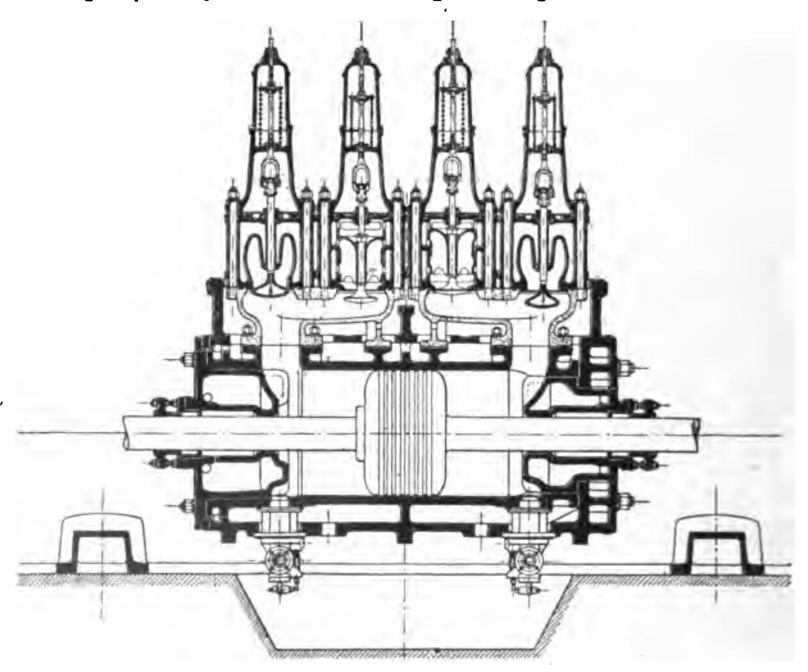


Fig. 7. — Moteur Krupp.

pour l'admission et l'échappement, la boite de distribution est placée latéralement et les soupapes d'échappement et d'admission sont alors directement opposées l'une à l'autre sur une même verticale.

Cette disposition semble être préférée par les constructeurs des États-Unis, même pour les moteurs de grande puissance.

D'autres variantes ont été essayées par des constructeurs allemands. C'est ainsi que la Maison Krupp a construit des moteurs avec les soupapes d'admission et d'échappement placées côte à côte au-dessus des cylindres *(fig. 7)*.

Dans les moteurs Schüchtermann et Kremer, la boite d'admission est au-dessus du cylindre *(fig. 8)*, mais la boite d'é-

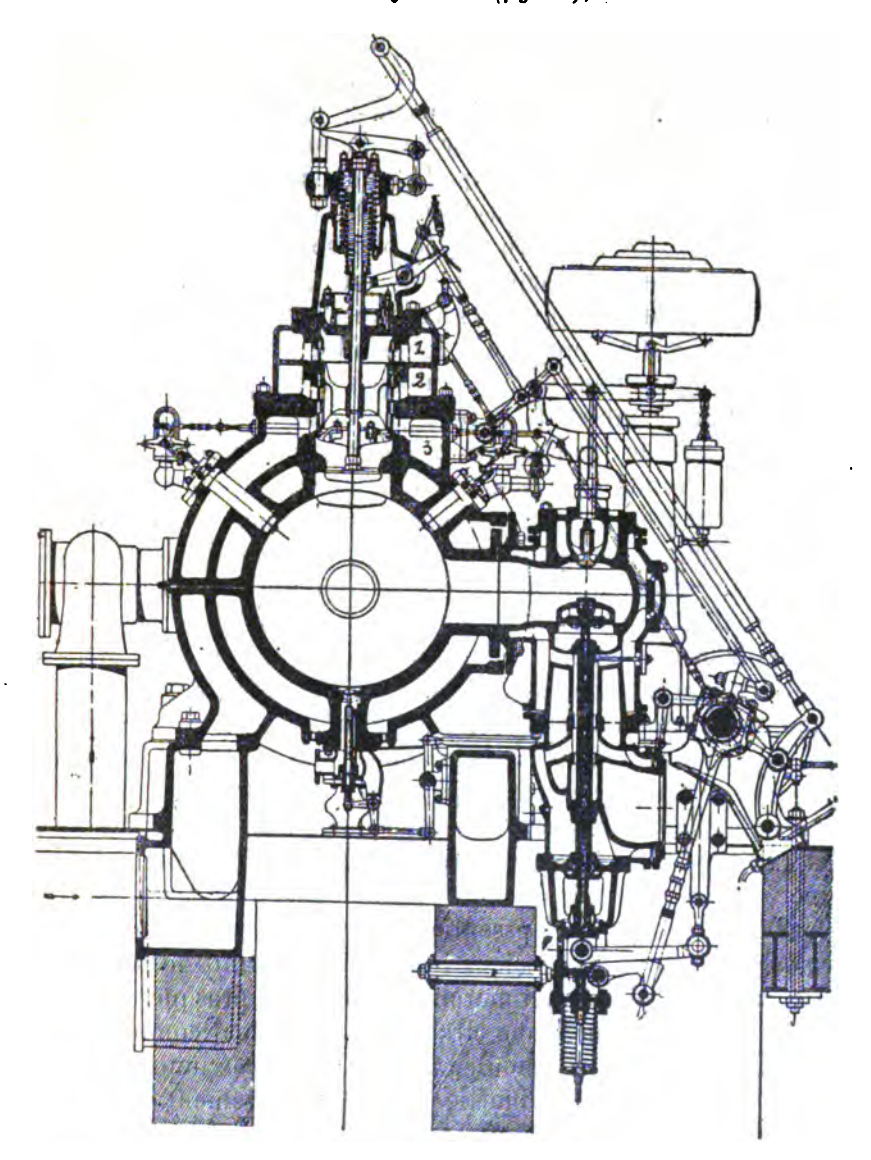


Fig. 8. — Moteur Schüchtermann et Krémer.

chappement est placée seule sur un còté de façon à faciliter l'enlèvement de la soupape.

MM. Bechem et Keetman commencent l'échappement par des

lumières percées dans le milieu du cylindre et découvertes à chaque fin de course de piston. L'expulsion des gaz brûlés se termine par une soupape de petite dimension. Dans ce genre de machine, les boîtes d'admission et d'échappement se trouvent encore au-dessus et au-dessous du cylindre, mais désaxées par rapport à la tige de piston, de façon à pouvoir faire sortir la soupape d'échappement par l'orifice d'admission. Dans le moteur Union, on place la soupape d'admission au-desous et la soupape d'échappement au-dessus, le constructeur estimant que cette dernière doit être visitée plus souvent. D'autres constructeurs, au contraire, comme la Société Cockerill et la Société Alsacienne, estiment que les soupapes d'échappement n'ont besoin d'être visitées qu'à de si longs intervalles, que, dans leurs moteurs, l'enlèvement de ces soupapes n'est possible que par un démontage complet de la boîte et des tuyauteries.

Dans le but de faciliter les opérations de fonderie, on fait souvent les grands cylindres en trois morceaux. La partie centrale, dans ce cas, forme le cylindre proprement dit : c'est une pièce très simple, par conséquent. Aux extrémités de celle-ci, on vient alors rapporter les têtes de cylindres, sur lesquelles on fixe les boîtes de distribution et les couvercles.

Pour la construction des pistons, on éprouve les mêmes difficultés que pour les cylindres. Ce n'est pourtant pas que la forme de ces organes soit très compliquée : à part les conduits qu'il faut ménager pour la circulation d'eau, ce sont de simples cylindres creux fermés aux deux bouts.

Au point de vue des nervures intérieures des pistons, les avis sont partagés. Les uns prétendent qu'il est préférable de s'en passer, les autres, moins absolus, estiment qu'il ne faut pas faire de nervures continues. L'essentiel, en somme, est de choisir des formes qui évitent les tensions initiales par retrait de fonderie.

Les casses de pistons en marche proviennent presque toujours de coups de bélier dus à une circulation d'eau mal comprise. Si, en effet, l'eau n'est pas refoulée aux pistons avec une pression suffisante, les effets de l'inertie dans le mouvement alternatif peuvent être tels qu'une rupture survenant dans la colonne de liquide, détermine un coup de *marteau d'eau* très préjudiciable pour des pièces en fonte. Pour parer à cette éventualité, on a d'abord fait des pistons en acier coulé, mais dans ce cas, il est absolument indispensable que les tiges et contre-tiges soient assez robustes pour être sûr que les cercles seuls des pistons

porteront dans les cylindres, car on ne peut attendre rien de bon d'un frottement d'acier coulé sur fonte. Nous préférons la disposition qui consiste à armer les pistons par des tiges d'acier qui les traversent de part en part. Néanmoins, pour marcher avec toute sécurité, le meilleur moyen à employer est encore de faire la circulation des pistons sous haute pression, afin que les ruptures de colonne d'eau ne puissent pas se produire.

Les circulations d'eau dans les enveloppes de cylindres et dans les pistons ont l'avantage d'empêcher la dilatation des pièces. C'est ainsi qu'on peut observer, par exemple, qu'un moteur à gaz double-effet-tandem de 20 m de longueur ne s'allonge que d'une quantité inappréciable. Une machine à vapeur de même longueur s'allongerait facilement sous l'effet de la dilatation de 12 à 15 mm. C'est pourquoi les grandes machines à vapeur ne peuvent être mises en marche qu'après plusieurs heures de réchauffage. Le moteur à gaz, au contraire, peut être mis en charge en quelques instants sans crainte d'accident.

Étant donnés les efforts considérables développés dans les moteurs à gaz et surtout les efforts anormaux qui peuvent se produire par des allumages anticipés par exemple, on préfère donner aux arbres la forme de coudés.

Comme un arbre coudé coûte toujours très cher, on essaye aux États-Unis d'employer pour les moteurs à gaz des arbres à simple manivelle. Cette disposition avait été autrefois employée par M. Delamarre, qui y renonça bien vite. L'avenir nous dira si cette simplification vaut la peine d'être faite.

Les arbres se font généralement en acier demi-dur. On renonce souvent aujourd'hui à équilibrer les coudes des arbres par des contrepoids, ceux-ci ne pouvant jamais avoir les dimensions suffisantes pour contrebalancer dans une mesure appréciable les effets de l'inertie des pièces en mouvement.

Les effets de l'inertie ne sont d'ailleurs gênants qu'au point de vue de leur action sur les fondations. En dehors de cette considération, leur influence est, contrairement à ce qu'on croit généralement, nettement favorable soit au point de vue de la régularité, soit au point de vue de la fatigue des pièces.

Dans les grandes machines, en effet, l'inertie des pièces en mouvement atteint facilement 12 kg par centimètre carré, c'est-à-dire une valeur égale aux compressions couramment employées aujourd'hui. Il en résulte que, pendant les compressions, l'arbre d'un moteur à gaz travaille très peu et qu'à l'explosion la pres-

sion qu'il supporte est diminuée de toute la valeur de l'inertie. Aussi, lorsque dans un grand moteur en régime normal la pression atteint, par exemple, 24 kg, la véritable pression sur l'arbre n'est que de 12 kg. On est néanmoins obligé de calculer les arbres pour les pressions les plus élevées de l'explosion, car à la mise en marche ou lorsque le moteur vient accidentellement à ralentir par suite d'une surcharge trop importante, par exemple, ou pour toute autre cause, on ne peut plus compter naturellement sur les effets de l'inertie.

C'est pour avoir négligé cette dernière observation que certaines ruptures d'arbres se sont produites.

On voit par les considérations ci-dessus qu'on est amené à donner aux arbres des moteurs à gaz des dimensions qui, en régime normal, font travailler le métal dans d'excellentes conditions, ce qui est évidemment favorable à la conservation en bon état des organes des machines.

D'ailleurs, les grandes surfaces de portée facilitent considérablement le graissage, à la condition que celui-ci soit bien étudié. Notons qu'on donne de plus en plus la préférence aux graissages sous-pression.

Pour réduire au minimum les usures de cylindres, on a été amené, pour des alésages dépassant 600 mm, à faire porter les pistons par leur tige. Avec les cylindres en tandem, les moteurs ont alors trois glissières : une à l'avant, une au milieu et la troisième à l'arrière. Il est préférable de faire ces glissières plates et assez basses, de façon qu'elles ne soient pas une gêne pour l'enlèvement des fonds de cylindres. Le nettoyage des chambres d'explosion peut se faire ainsi très facilement et pour visiter les pistons, il suffit de les amener sur les glissières.

Les garnitures de tiges de piston se font entièrement métalliques. Dans nos premiers moteurs à double effet, nous avions employé à cet effet des bagues coniques en métal blanc, entrant les unes dans les autres. Cette disposition fut souvent employée, mais dans les grands moteurs elle a l'inconvénient de brider les tiges, ce qui augmente les difficultés de montage et est gênant dans le cas de l'ovalisation des cylindres.

On donne aujourd'hui la préférence à des anneaux de fonte, fendus comme des cercles de piston, mais dont la tension est en sens inverse de ceux-ci.

Ces anneaux sont ajustés, soit seul, soit deux à deux dans des cages qui ne touchent pas les tiges. La *fig. 9* montre une dis-

position de ce genre. L'huile de graissage arrive entre deux séries de cercles. Les cercles de la première série sont en trois

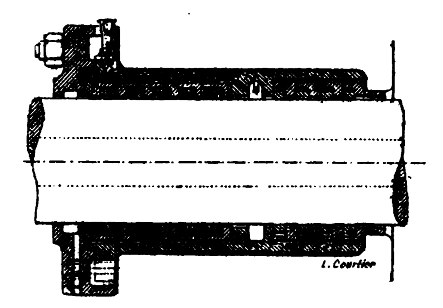


Fig. 9. — Garniture métallique de tige de piston.

pièces garnies d'antifriction et un ressort à lame les recouvre et les applique sur la tige.

On voit par les dispositions prises que la tige peut bouger légèrement sans prendre contact avec les cages des cercles d'étanchéité.

Description des moteurs.

Les grands moteurs se font ou à deux temps ou à quatre temps, mais ces derniers sont de beaucoup les plus répandus.

Théoriquement, les moteurs à deux temps et les moteurs à quatre temps utilisent exactement le même cycle à compression préalable dans le cylindre même de travail. Ce qui différencie les deux systèmes, c'est simplement la façon d'introduire la charge du mélange tonnant dans les cylindres après l'explosion des gaz brûlés.

Dans le moteur à quatre temps, deux courses sont employées à cette fonction : une d'échappement et une d'admission.

Dans le moteur à deux temps, c'est à la fin de la course de détente et pendant la durée d'un cinquième de tour de manivelle environ que ces deux opérations se font successivement par l'emploi de pompes auxiliaires. Les gaz brûlés sont d'abord expulsés par une chasse d'air, puis le cylindre reçoit la charge convenable de gaz pour former avec l'air résiduaire un mélange tonnant. Au retour du piston, la compression a alors lieu immédiatement.

Le système à deux temps est séduisant *a priori* parce qu'il permet à un cylindre de dimension donnée de fournir par tour une puissance double que par le système à quatre temps. En pratique, ce n'est pas tout à fait exact parce qu'on n'est pas encore arrivé à faire tourner les moteurs à deux temps aussi vite que les moteurs à quatre temps, à cause des moments très courts pendant lesquels doit se faire la distribution.

D'autre part, il faut remarquer que les pompes des moteurs à deux temps compliquent beaucoup leur construction car elles doivent avoir un volume considérable. On ne peut penser à n'avoir qu'une seule pompe, aspirant un mélange tonnant tout préparé, suivant une méthode qui fit autrefois échouer les premières tentatives de moteur à deux temps, car il n'est pas pratique, avec les dispositifs généralement employés, de compter sur une stratification suffisante des gaz pour éviter que, dans la chasse des gaz brûlés par le mélange frais entrant, il ne se perde une partie de celui-ci par l'échappement.

On est donc obligé d'employer des pompes séparées pour l'air et pour le gaz, afin de pouvoir expulser les gaz brûlés d'abord par une chasse d'air, mais il faut remarquer qu'en opérant ainsi, on envoie finalement au cylindre-moteur au moins une double cylindrée. Les volumes additionnés des pompes doivent donc être à peu près doubles du volume qui devrait être strictement nécessaire pour l'introduction de la charge.

D'autre part, les pompes ayant leurs organes propres de commande, il s'ensuit que le travail passif absorbé par leur fonctionnement est assez élevé : il atteint quelquefois 13 0/0 de la puissance totale de la machine et il n'est jamais descendu en-dessous de 8 0/0, tandis qu'avec le système à quatre temps, le travail passif de chargement ne dépasse pas 3 0/0 dans les machines bien établies.

De plus, malgré la précaution de la chasse d'air, il est difficile de ne pas perdre du mélange tonnant par l'échappement.

En fait, les moteurs à deux temps ont toujours des rendements effectifs inférieurs à ceux des moteurs à quatre temps.

Nous ne voulons pas dire par là que les moteurs à deux temps n'ont aucun avenir, mais, ce qui est certain, c'est que ce genre de machine ne sera intéressant que du jour où il pourra être vendu à un prix notoirement inférieur à celui des moteurs à quatre temps, car alors on pourra considérer comme négligeable une petite différence dans les consommations.

Jusqu'ici les études n'ont pas paru être conduites dans ce sens car les moteurs à deux temps qui existent coûtent plutôt plus cher d'établissement que les moteurs à quatre temps.

Moteurs a deux temps.

Il n'existe que deux systèmes distincts de moteurs à deux temps :

Le moteur à pistons opposés Oechelhauser et le moteur à double effet dont le premier type ne fut construit par la maison Korting qu'en 1902.

En dehors des concessionnaires ou des imitateurs de ces marques, il ne s'est pas créé jusqu'ici d'autres types de moteurs à deux temps.

Nous décrirons d'abord le moteur Oechelhauser dont les applications précédèrent celles des moteurs à double effet à deux temps.

Ce moteur se compose d'un très long cylindre, dans lequel se meuvent deux pistons opposés. Le mouvement est donné à ces pistons par un arbre à trois coudes. Le coude du milieu actionne par bielle, et de la façon ordinaire, le piston tourné vers le bâti ; les deux autres coudes, par de longues bielles latérales, viennent attaquer en retour une crosse disposée à l'arrière de la machine pour guider le deuxième piston. Les coudes des bielles en retour sont opposés à 180 degrés au coude principal de l'arbre de telle sorte que les pistons se meuvent en sens inverse.

Lorsque les pistons arrivent à leur fin de course, ils découvrent des orifices percés dans les parois mêmes du cylindre. Du côté avant, on trouve ainsi des lumières d'évacuation pour les gaz brûlés, et du côté arrière on a, par une double rangée de trous, une arrivée successive d'air et de gaz.

Le fonctionnement est le suivant :

Lorsque les pistons, en s'éloignant, viennent à découvrir les orifices qui se trouvent à leurs extrémités, l'échappement d'un côté commence, et de l'autre côté pénètre, par la première série de lumières découvertes, de l'air sous faible pression qui chasse les gaz brûlés devant eux pour les forcer à s'évacuer en un temps très court. Le mouvement des pistons s'accentuant, la deuxième couronne de trous se trouve découverte, et c'est par ces derniers que le gaz pénètre dans le cylindre pour former un mélange tonnant avec l'air résiduaire qui y reste.

Lorsque les pistons commencent à se rapprocher, les lumières se ferment, et immédiatement après la compression commence. Lorsque les pistons sont arrivés à leur rapprochement le plus voisin, une étincelle détermine l'inflammation du mélange tonnant et les pistons en s'écartant à nouveau donnent une course motrice.

L'air et le gaz sont fournis sous pression à la machine par une pompe placée ordinairement à 45 degrés dans les fondations et actionnée directement par une bielle solidaire d'une manivelle placée en bout de l'arbre moteur.

L'introduction du gaz combustible est assurée par une soupape, dont la durée d'ouverture ou la levée dépend de la position du régulateur de façon à assurer le réglage de la machine.

Dans la figure, on voit que la machine actionne en bout, directement dans le prolongement de la tige du piston arrière, le piston d'une soufflante.

Ce genre de moteur a surtout été apprécié au début de l'emploi des gaz de hauts fourneaux dans les moteurs à gaz, c'est-à-dire à une époque où l'avantage des moteurs à gaz sur les machines à vapeur paraissait déjà tellement grand qu'une consommation très réduite n'avait pas grand intérêt, car, on n'a pas eu de suite l'emploi de tous les gaz disponibles. Ce système parait avantageux lorsqu'on peut se servir de l'air d'une soufflante pour produire les chasses d'air : en effet, à côté du volume considérable d'air sous pression qu'il faut pour les hauts fourneaux, la dépense d'air de la machine peut alors paraître négligeable : il n'en est pas moins vrai que la perte de travail existe toujours.

C'est d'ailleurs comme soufflante à gaz que le moteur Œchelhauser fut le plus souvent employé. Dans ce cas la tige du piston de la soufflante est actionnée directement par la crosse arrière du moteur. Parmi tous les systèmes de moteur à deux temps, le moteur Œchelhauser est certainement celui qui comporte les dispositions les plus favorables pour produire l'expulsion de gaz brûlés sans trop perdre de gaz frais.

Le moteur Koerting se compose d'un cylindre dans lequel se meut un piston très long. Ce piston dans son mouvement forme distributeur sur des ouvertures disposées tout le tour de la circonférence médiane du cylindre pour servir de lumières d'échappement. Le cylindre, fondu avec son enveloppe, est aussi

symétrique que possible ; à ses extrémités sont rapportées deux têtes de cylindre qui ne portent à leur partie supérieure que l'emplacement des soupapes d'admission : ces soupapes, de grand diamètre, sont exactement faites comme les soupapes des moteurs à quatre temps.

La dissymétrie dans les têtes des cylindres présente une certaine difficulté de fonderie. Pour éviter des casses par retrait au refroidissement on a quelquefois fait ces têtes en acier coulé. Le piston est porté par une tige creuse qui s'appuie à l'avant et à l'arrière, en dehors des cylindres, sur des crosses qui le guident.

Latéralement, et commandées par une manivelle extérieure, se trouvent, dans le prolongement l'une de l'autre, les pompes à air et à gaz, dont la distribution se fait par des tiroirs cylindriques mus par excentriques. La pompe à gaz a un diamètre de piston presque égal à celui du piston moteur, et la pompe à air a un piston de diamètre notablement plus grand que celui-ci, à cause de la nécessité des chasses d'air.

Pour le réglage, un régulateur agit sur un retour plus ou moins accentué du gaz à la pompe.

La maison Matter et Platt a simplifié l'aspect de moteur à deux temps à double effet en supprimant l'arbre latéral de distribution.

Ainsi qu'on le voit, dans ces systèmes à deux temps, le réglage ne se fait, et ne peut d'ailleurs se faire, que par l'appauvrissement du mélange tonnant. L'évacuation des gaz brûlés obtenue par des orifices directement percés dans les cylindres est une disposition évidemment simple, mais qui a l'inconvénient de gêner le graissage : en effet, à chaque passage du piston sur les orifices, l'huile qu'on a injectée dans les cylindres pour la lubrification du piston est forcément rejetée au dehors, et de ce fait les consommations d'huile des moteurs à deux temps sont supérieures à celles des moteurs à quatre temps.

Moteurs a quatre temps.

Comme moteurs à quatre temps pour les grandes puissances il ne se construit plus que des moteurs à double effet ou triple effet tandem ou double effet tandem.

Les moteurs à double effet ne s'emploient que pour des puissances de 250 à 400 ch ; au-dessus on préfère le double effet tandem.

Du reste le double effet n'est guère employé que pour la conduite des soufflantes.

Comme machine unique, le double effet n'est pas très avantageux car il coûte cher de construction et nécessite des volants encore fort lourds (1).

Pour des puissances inférieures à 400 ch le triple effet tandem est une des meilleurs solutions que l'on puisse adopter.

Ce type de moteur est formé d'un cylindre à double effet disposé en tandem avec un cylindre à simple effet et fonctionne à peu près comme un moteur à trois cylindres. C'est en considérant la place énorme prise par la glissière dans un double effet que nous avons été amené à créer le triple effet.

Nous avons remplacé le coulisseau par un piston à simple effet qui occupe le même emplacement et il a suffi alors de garnir ce nouvel effet d'une distribution pour que, sans augmentation sensible de poids même pour le volant, nous puissions faire produire au moteur ainsi constitué une puissance de 50 0/0 supérieure à celle que peut donner le double effet équivalent.

Chacun des effets marchant à quatre temps, on a ainsi trois coups utiles sur quatre, ce qui donne au moteur une grande régularité.

Une difficulté subsistait: c'était d'assurer par un moyen simple, ne demandant aucune surveillance et ne nécessitant aucun réglage l'étanchéité de la tige de piston entre l'effet avant et l'effet milieu. Nous avons résolu le problème d'une façon fort simple : l'entretoise qui relie les cylindres avant et arrière affecte la forme d'un long fourreau pour le passage de la tige de piston et celle-ci est garnie de cercles élastiques comme en sont pourvus les pistons des moteurs d'automobile. On obtient ainsi une étanchéité équivalente à celle des pistons moteurs sans l'emploi d'aucun bourrage.

Les figures 1 et 2 *(Pl. 176)* montrent les dispositions générales d'un triple effet tandem de 200 ch effectifs.

Les pistons ont 460 mm de diamètre et une course commune de 650 mm. Le nombre de tours est de 170 par minute.

Pour les puissances supérieures à 200 ch, les pistons doivent recevoir dans leur intérieur une circulation d'eau analogue à celles que nous décrirons pour les moteurs double effet tandem.

(1) Voir tableau des poids relatifs des volants, page 1073.

Le triple effet est avantageux à employer jusqu'à un diamètre de 600 mm d'alésage de cylindre, ce qui correspond environ à 400 ch.

Sur ce type de moteur, les distributions de chaque effet sont complètement indépendantes, les unes des autres. Ces dispositions permettent de marcher à simple, double ou triple effet à volonté suivant l'importance de la charge ; elles permettent également la visite et le démontage en marche de tous les organes d'une distribution simplement en réduisant momentanément la puissance demandée au moteur : c'est un grand avantage pour les marches continues de jour et de nuit.

Nous ne nous arrêterons pas à la description des moteurs à effets multiples, composés de moteurs à simple effet jumelés, car leur construction ne présente rien de particulier à signaler. Du reste comme moteurs horizontaux, ces groupements qui furent très en faveur il y a quelques années sont maintenant complètement abandonnés par les constructeurs.

Pour le groupement de moteurs à simple effet, c'est la forme verticale qui convient le mieux. Les bâtis dans ce cas étant rendus étanches sans difficultés, les graissages abondant sont faciles et les moteurs peuvent, par conséquent, tourner plus vite. On peut faire ainsi des machines légères et peu encombrantes se prêtent mieux au couplage direct avec des dynamos et des alternateurs. Si jusqu'ici les essais faits dans cette voie ont paru donner au point de vue thermique des résultats moins bons que les moteurs horizontaux c'est que dans un but de simplification mal entendu on les a pourvus de mécanismes de distribution et de graissages trop sommaires. Le moteur à gaz, de par sa nature même, se prêtant particulièrement bien aux allures rapides, il n'y a pas de raison pour qu'un moteur vertical à grande vitesse bien étudié accuse des rendements inférieurs à ceux des moteurs horizontaux.

Quoi qu'il en soit, au moins pour les puissances de 500 ch et au-dessus, les industriels donnent la préférence aux moteurs horizontaux double effet tandem à marche relativement lente.

L'aspect de ces moteurs rappelle absolument celui des machines à vapeur à soupape.

Moteur à double effet tandem.

Le nombre de types de moteurs à double effet tandem est déjà assez grand. Il serait sans intérêt de les décrire tous successivement, attendu qu'en dehors des systèmes de distribution, ces machines présentent comme genre de construction, beaucoup de points communs.

A titre d'exemple, nous donnerons la description du dernier type de moteur de 1 000 ch indiqués, que nous avons étudié pour la Société des Ateliers du Thiriau (La Croyère, Belgique), moteur qui fut essayé à la fin de l'année dernière par MM. A. Witz et E. François.

Cette machine comporte naturellement tous les perfectionnements de détail auxquels ont été conduits successivement tous les constructeurs. Elle présente en outre certaines particularités intéressantes dans la distribution, l'agencement général, la mise en marche, etc., qui donnent la solution de desiderata incomplètement réalisés jusqu'ici.

La machine se compose de deux cylindres à double effet relié entre eux par une entretoise, d'un bâti arrière et d'un bâti avant portant l'arbre *(fig. 10)*.

Le bâti est de forme allongée et très bas. Il porte à l'arrière une couronne, pour recevoir le premier cylindre ; le fond constitue une glissière plate et le passage de la bielle entre les deux paliers de l'arbre coudé forme cuvette profonde entrant dans la fondation. La cuvette se relève à l'avant pour entretoiser les côtés latéraux. Pour empêcher la flexion de la couronne d'attache du premier cylindre, celle-ci est reliée aux têtes de palier par de forts boulons d'acier serrant sur des entretoises cylindriques.

Pour consolider les paliers, les chapeaux sont en acier coulé et s'appuient sur les montants de ceux-ci par des plans inclinés à 45 degrés. De cette façon, le chapeau, par le serrage énergique qu'on lui donne, annule l'influence de la coupure du bâti occasionnée par le logement des coussinets. Ceux-ci sont formés de quatre pièces d'acier garnies d'antifriction et sont maintenus en place verticalement par la pression des vis qui traversent le chapeau du palier.

Le rattrapage de jeu se fait par un coin s'appuyant sur la

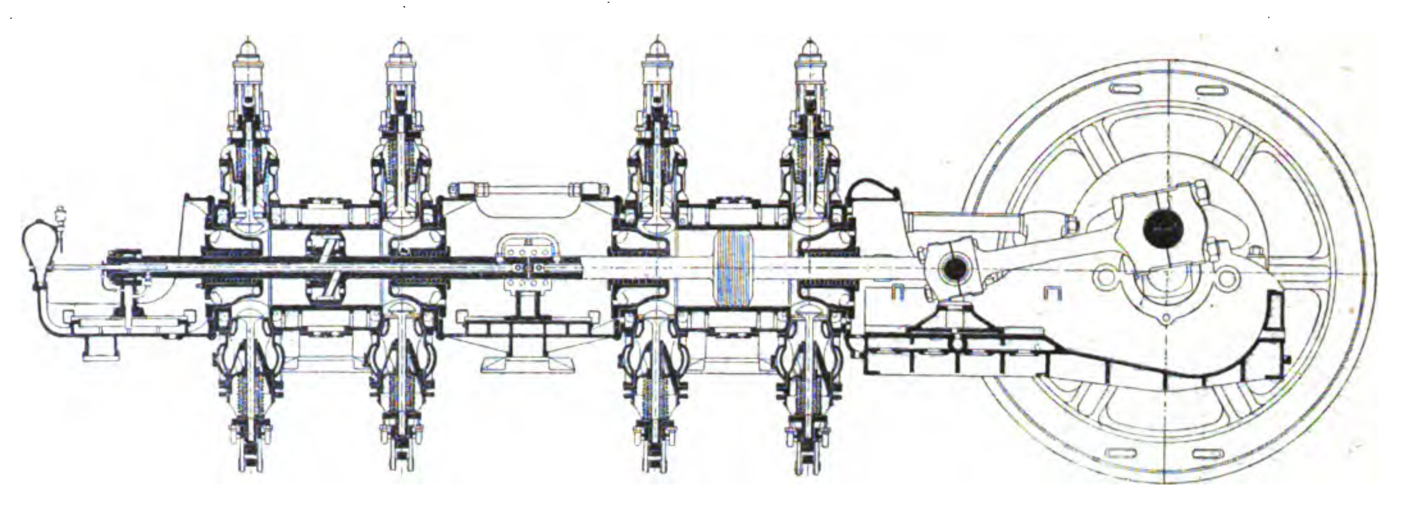


Fig. 10. — Moteur double-effet tandem de 1 000 ch (Letombe).

portée du coussinet placée horizontalement du côté des cylindres. Ce coin s'appuie sur le bâti par une partie cylindrique à génératrices verticales, de façon à permettre à l'arbre de prendre de lui-même la place qu'il doit occuper. Le serrage du coin s'opère de bas en haut par la manœuvre d'une vis qui traverse librement le chapeau de palier et qui, après avoir passé dans le coin formant écrou, s'appuie dans le fond de la cage des coussinets.

Le graissage de l'arbre et de la glissière se fait exclusivement sous pression. A cet effet, des tuyaux amènent l'huile directement aux coussinets, et un manomètre, relié par un tuyau à la partie supérieure du coussinet supérieur, permet de se rendre compte à tout instant si le graissage se fait bien. Un trou percé dans l'arbre au milieu de l'une des portées de coussinets communique par des conduits forés avec un orifice percé dans le centre du tourillon de la tête de bielle, de sorte que celui-ci est également graissé sous pression. L'arbre au sortir des coussinets porte des larmiers dont les gorges communiquent avec le bâti, de façon à ramener toujours l'huile ayant servi dans la concavité inférieure de celui-ci.

Une dérivation de la conduite d'huile sous pression débouche également au milieu de la glissière. Le patin de crosse ayant une longueur supérieure à la course de pistons, ce centre ne se trouve jamais à découvert. Un conduit percé dans la crosse permet à l'huile de monter jusqu'aux coussinets de la petite tête de bielle pour en assurer le graissage.

Toute l'huile qui s'écoule dans le bâti est reprise par une pompe, traverse un filtre et revient indéfiniment au bâti.

L'ouverture supérieure du bâti est naturellement fermée par un couvre-bielle étanche en tôle, pour éviter les projections d'huile.

Afin d'éviter l'échauffement de l'huile, le dessous de la glissière comporte un compartiment où circule l'eau de refroidissement avant de se rendre aux enveloppes des cylindres.

L'arbre se prolonge latéralement pour recevoir le volant et un alternateur : il est soutenu à son extrémité par un palier à graissage à chaînes.

Le graissage sous pression a le grand avantage de permettre un ajustage très précis et sans jeu de tous les coussinets, sans avoir à craindre aucun échauffement.

Les organes de transmission se meuvent ainsi sans bruit, même à des vitesses relativement considérables. C'est ainsi

qu'avec cette machine dont la course des pistons est de 800 mm, on a pu tourner à 150 tours, sans entendre le moindre choc dans les coussinets de bielle. Le fait est assez rare dans un moteur à double effet pour que nous le signalions. Pour atteindre ce résultat, il faut nécessairement une très grande perfection dans la construction (1).

Les cylindres sont fondus d'une seule pièce avec leurs enveloppes. Les portées sont absolument symétriques ; ils présentent en dessus et en dessous et aux deux extrémités, des ouvertures pour l'emplacement des boites à soupapes. Dans un plan médian les cylindres portent quatre grandes ouvertures à 90 degrés, pour la visite et le nettoyage des enveloppes dans lesquelles on peut facilement passer le bras. Les larges enveloppes sont d'ailleurs avantageuses pour l'enlèvement parfait des noyaux de fonderie.

Les formes adoptées sont telles, que pour la résistance on compte autant sur le cylindre intérieur que sur l'enveloppe. Ces deux parties sont à cet effet entretoisées par des anneaux de fonte qui forment frettes autour du cylindre intérieur.

Les lumières d'admission et d'échappement sont consolidées par des tirants en acier au nickel.

Les têtes des cylindres portent de larges collets sur lesquels viennent s'attacher les bâtis d'entretoise ou d'extrémité.

Le bâti qui relie les cylindres a une forme extérieure cylindrique et porte à sa base une glissière plate. Cette entretoise est percée dans le haut d'une large ouverture, permettant d'accéder facilement aux boulons de serrage des couvercles, ainsi qu'à la crosse qui supporte les tiges de piston entre les deux cylindres ; cette ouverture est consolidée par un long boulon d'acier placé à la partie supérieure.

Le bâti arrière porte également une glissière plate, et supporte en même temps le réservoir d'air pour la circulation d'eau des pistons.

Les boites de distribution sont en plusieurs pièces ; la boite d'admission est venue de fonte avec la boite de mélange, qui se trouve dans un même plan vertical, perpendiculaire à l'axe des cylindres *(fig. 11)*.

Cette boite de mélange porte à la partie supérieure un conduit pour l'air, et à la partie inférieure un conduit pour le gaz. Le siège de la soupape d'admission proprement dit est rapporté

(1) Cette machine a été construite par la Société anonyme des Ateliers du Thiriau (Belgique).

dans l'intérieur de cette pièce, et est maintenu en place par un couvercle boulonné, qui porte en même temps un tourillon pour la manœuvre des leviers de soupape.

La soupape est maintenue en place par un double ressort, de façon que si, pendant le fonctionnement, l'un vient à casser, la machine puisse encore fonctionner jusqu'au prochain arrêt.

La soupape de mélange est une soupape double qui reçoit sa

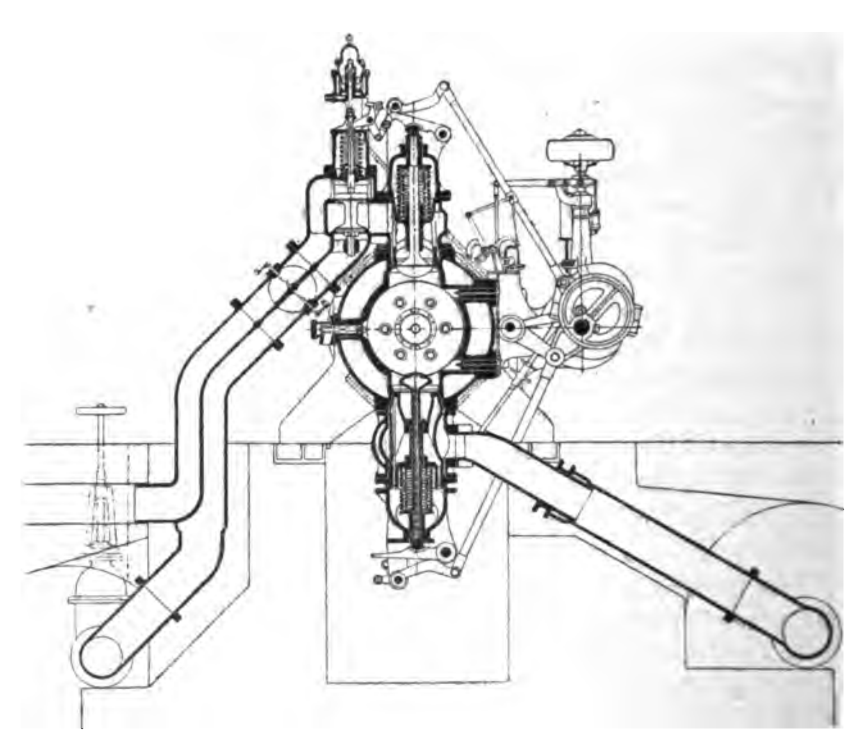


Fig. 11. — Coupe par les soupapes d'un moteur de 1 000 ch (Letombe).

commande par la partie supérieure, à l'aide de leviers commandés par un relais des leviers d'admission. La tige de commande de cette soupape est surmontée d'un dash-pot à huile destiné à amortir le choc de la soupape sur son siège à la fermeture. Le dash-pot à huile est un peu plus compliqué que le dash-pot à air, mais il a l'avantage d'être silencieux et indéréglable.

La boite à soupape d'échappement comprend d'abord une collerette à circulation d'eau, fixée directement sur le cylindre et sur laquelle vient se rapporter la tuyauterie d'échappement.

Dans l'intérieur de cette collerette, se place une pièce amovible, également à circulation d'eau, qui forme siège et guide pour la soupape d'échappement. Cette pièce est maintenue en place par un couvercle analogue à celui que nous avons décrit pour la soupape d'admission. Les soupapes d'admission et d'échappement sont en acier forgé et forées intérieurement pour recevoir une circulation d'eau par un tube central. Les extrémités de tiges des soupapes portent une potence solidaire de deux petits corps cylindriques coulissant sur des tiges creuses fixes, par lesquelles se font l'entrée et la sortie de l'eau de refroidissement.

Les arrivées d'air et de gaz au moteur sont assurées par une série de tuyaux divisés en deux parties, qui se raccordent avec les boîtes à soupapes de mélange. Dans chacun de ces conduits se trouve un papillon de réglage, réglable à la main par un système de volant et de vis qui peut se manœuvrer pendant la marche.

Les tuyaux d'échappement se trouvent reliés à un collecteur par des tuyaux à presse-étoupe, de façon à prévenir des ruptures par dilatation inégale.

La distribution se fait par un arbre latéral, tournant à la moitié de la vitesse de l'arbre du moteur, placé à la hauteur de l'axe des cylindres. Cet arbre est actionné par un relais inférieur, fixé sur le bâti. Ce relais communique son mouvement à l'arbre de distribution, par des engrenages droits, et il est lui-même actionné par un jeu d'engrenages hélicoïdaux, dont l'un d'eux est calé directement à l'extrémité de l'arbre moteur.

L'arbre de distribution proprement dit est lui-même en deux pièces, réunies par un manchon. Cette disposition a été prise pour faciliter le démontage.

Pour chaque extrémité de cylindre, la distribution se fait par un seul excentrique, qui actionne d'abord un levier principal dirigé vers le bas de la machine et duquel part une bielle, qui s'en va actionner directement les leviers roulants de commande de la soupape d'échappement. D'un point convenablement choisi sur le collier d'excentrique, part une seconde bielle qui actionne, à la partie supérieure de la machine, les leviers roulants de commande de la soupape d'admission,

A côté de la commande normale de l'échappement se trouve une deuxième commande par came dont on n'use qu'à volonté, soit pour maintenir la soupape constamment ouverte quand on vire au volant, soit pour diminuer les compressions aux mises

en marche. Nous avons reconnu à l'usage, qu'avec notre dispositif spécial de mise en route par l'air comprimé, ce mécanisme additionnel peut être supprimé sans inconvénient.

La distribution par un seul excentrique par effet donne un aspect de grande simplicité au moteur.

Les leviers roulants, tant pour l'admission que pour l'échappement, sont constitués par un levier droit, qui agit directement sur la tige de la soupape, et sur lequel appuie un levier actionné par les bielles de distribution. Le tracé de ce dernier levier est tel que, bien que son mouvement soit continu, soit en s'abaissant, soit en se relevant, il n'agit sur le levier qui actionne la tige de soupape que d'une façon intermittente, sans choc et sans frottement.

Avec l'emploi d'excentriques pour la distribution, les leviers roulants sont indispensables, car une faible partie seulement de la course de ceux-ci est utilisable. Par contre, les excentriques donnent des mouvements très silencieux.

Pour actionner la soupape de mélange, on utilise le mouvement de l'extrémité du levier principal qui actionne la soupape d'admission, la liaison étant faite par une petite bielle agissant sur un premier levier d'équerre qui en entraîne un second par l'intermédiaire d'un mécanisme à déclanchement qui laisse tomber la soupape à des moments variables suivant la position occupée par le régulateur.

Nous indiquerons en détail le mécanisme employé, lorsque nous parlerons des systèmes de distribution en général.

La commande des organes de déclics ainsi que ceux d'allumage, sont pris sur un même point des bielles d'admission.

Pour chaque effet, on utilise le mouvement d'une magnéto à déclanchement pour provoquer, par un système de tringles appropriées, des allumages simultanés à rupture sur deux tampons placés sur une même verticale et dans le voisinage des boites. L'un des tampons reçoit son courant de la magnéto actionnée et le deuxième d'une magnéto rotative, commandée directement par l'arbre de distribution et qui sert à la fois pour les quatre effets du moteur.

Nous estimons que dans les grands moteurs dont les cylindres ont toujours des chambres de compression assez étendues, le double allumage est indispensable.

Le dispositif que nous avons adopté est évidemment plus simple que celui qui consiste, pour un moteur double effet tendem,

à faire usage de huit magnétos à déclanchements toujours difficiles à placer.

Pour la mise en marche, l'action des magnétos à déclanchement seule suffit et, dès que le moteur a pris une vitesse suffisante, la magnéto rotative donne du courant et dès lors le double allumage est assuré dans de bonnes conditions.

Le régulateur du système Hartung se trouve placé au milieu de la machine, en face de l'entretoise des cylindres : il permet le réglage du nombre de tours du moteur dans d'assez grandes limites en agissant sur une balance à ressort. Cet appareil est muni en outre d'un modérateur à huile pour parer aux réactions des organes de distribution.

Les pistons sont en fonte, fondus d'une seule pièce, avec un conduit d'arrivée et de sortie d'eau; ils portent huit cercles d'étanchéité, qui, seuls, appuient sur l'alésage des cylindres. Les corps des pistons sont, en effet, tournés à un diamètre de 4 mm inférieur à celui des cylindres. Les tiges sont en acier forgé et forées dans toute leur longueur; elles sont réunies à leurs extrémités, entre les deux cylindres, par une double mâchoire à filets trapézoïdaux qui se ferme suivant un plan vertical et qui s'attache à la partie inférieure sur la crosse intermédiaire de suspension des tiges. La tige avant pénètre dans la crosse principale en s'appuyant sur un collier conique en deux pièces et est serrée à son extrémité par un écrou. Cette disposition a pour but de permettre, lors d'un démontage, en enlevant le collier d'appui, le passage de la tige à travers la crosse. De cette façon, on peut amener le piston sur la glissière, simplement en relevant la bielle dont la partie postérieure est à fourche.

La crosse arrière est creuse, et sert de conduit pour l'évacuation de l'eau de circulation des pistons. Cette circulation se fait entièrement par l'arrière : à cet effet, un tube intérieur passe d'un bout à l'autre des tiges des pistons jusqu'à l'avant. Ce tube porte des parties renflées faisant piston à peu près étanche, en face des orifices de distribution d'eau dans les pistons.

L'eau arrive dans l'intérieur de ce tube par un joint coulissant, qui aboutit au réservoir d'air, placé sur le refoulement de la pompe de circulation.

L'eau, arrivant sous haute pression, traverse le tube intérieur dans toute sa longueur jusqu'à l'extrémité avant de la tige du premier cylindre, puis revient par l'espace annulaire laissé entre ce tube et l'alésage intérieur des tiges. Dans son parcours, cette

eau pénètre d'abord dans le piston avant, puis en ressort pour passer à la tige arrière par un tube extérieur rapporté, et passe enfin au deuxième piston, d'où, en sortant, elle va s'évacuer par la crosse arrière pour tomber dans un réservoir placé sous le bâti, où elle est reprise à nouveau pour resservir après refroidissement.

Principaux systèmes de distribution et de réglage des grands moteurs à gaz.

Théoriquement, pour régler un moteur, c'est-à-dire pour obtenir que ses diagrammes se modifient de façon que sa vitesse reste constante, quelles que puissent être les variations de puissance qui lui sont imposées, il devrait suffire (au moins pour les machines qui marchent suivant le cycle Beau de Rochas, et c'est le plus grand nombre) de faire varier les volumes d'admission du gaz combustible proportionnellement à la puissance développée, attendu que la théorie indique que, dans ce cas, le rendement ne dépend absolument que du volume total d'aspiration et de la valeur de la compression à la condition que l'apport de chaleur se fasse rigoureusement à volume constant. Malheureusement, lorsque les mélanges tonnants n'ont pas une composition bien déterminée, sans insuffisance ni excédent sensible d'oxygène, leurs combustions diminuent de rapidité et s'achèvent dans des temps très différents.

Or, nous avons démontré par le calcul que, si les combustions se ralentissent, le rendement des moteurs doit baisser très rapidement. Or, c'est précisément ce qui se produit lorsqu'on veut régler les moteurs en agissant simplement sur la quantité de gaz combustible admis à chaque aspiration. Ce procédé est désigné sous le nom de réglage qualitatif. On a d'abord cru que ce mode de réglage serait suffisant, parce que, même avec une variation assez grande dans la composition des mélanges gazeux, les allumages se faisaient quand même. Mais, ne pas avoir de ratés ne suffit pas : il faut encore que les mélanges introduits dans les cylindres brûlent dans les conditions indiquées par la théorie.

Otto, dans sa première machine, avait tout naturellement pensé à lui appliquer le *réglage qualitatif* de beaucoup le plus simple qu'on puisse imaginer, mais il éprouva dès ses premiers essais

de telles difficultés avec les ratés et les non-combustions qu'il fût immédiatement amené à donner à la culasse de son moteur et à son tiroir de distribution des formes toutes particulières, de manière à avoir un mélange riche et de composition aussi constante que possible dans le conduit aboutissant à la lumière d'admission du cylindre. Il obtint ainsi une assez grande régularité, mais il ne put néanmoins pas de cette façon réduire suffisamment l'admission du gaz pour aller jusqu'à faire tourner son moteur à vide sans ratés : il dut, après une certaine réduction, en arriver à suspendre toute admission de gaz.

Avec le réglage qualitatif ce ne sont d'ailleurs pas seulement les combustions lentes qui sont à craindre : il arrive aussi que la flamme ne se propage pas dans toute l'étendue du mélange tonnant, et on rejette quelquefois alors à l'échappement une notable partie du gaz combustible admis ; c'est pour cette raison que beaucoup de moteurs ont des consommations aussi élevées à faible charge.

Les concessionnaires d'Otto, pour diminuer les consommations aux charges réduites, eurent recours au moyen radical de réglage qu'on appelle par « tout ou rien ».

Par ce procédé, on marche toujours avec le mélange le plus favorable pour obtenir des combustions rapides et complètes, et dès que la vitesse du moteur tend à être dépassée, toute admission de gaz est supprimée.

Malheureusement, au point de vue de la régularité des machines, le procédé laissait grandement à désirer ; en effet, il faut déjà aux moteurs à quatre temps à simple effet des volants très lourds pour leur garder une régularité suffisante, malgré les trois temps passifs de leur cycle, et on conçoit que lorsqu'on en arrive à devoir attendre pendant huit courses ou douze courses successives une explosion, la régularité devient très problématique.

Avec le réglage par « tout ou rien », il est presque impossible de commander d'une façon satisfaisante des dynamos d'éclairage. Pour éviter des oscillations irrégulières dans la lumière, on est obligé dans ce cas d'employer des batteries formant tampons d'accumulateurs ou de laisser glisser fortement les courroies, ce qui cause, dans un cas comme dans l'autre, des pertes de travail, et des dépenses importantes d'entretien. Dans des installations de ce genre, le mécanicien en arrive même, pour avoir plus de régularité lorsque la charge de la dynamo reste cons-

tante, à régler le moteur en réduisant, par tâtonnement, l'arrivée du gaz jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de passage à vide. On peut obtenir ainsi une marche qui peut être jugée satisfaisante, au point de vue de l'éclairage proprement dit, grâce à la surveillance constante qu'il faut alors exiger du mécanicien, mais au point de vue du rendement, le procédé ne vaut rien, car on détruit de cette façon le seul avantage économique du réglage par « tout ou rien ». On ne fait, en réalité, ainsi qu'un réglage qualitatif non automatique qui déforme en permanence les diagrammes au détriment des consommations.

Nous ne nous arrêterons pas aux dispositifs du réglage par « tout ou rien » qui n'intéressent pas les grands moteurs.

Dès 1897, nous avions trouvé un procédé pour remédier aux défauts du réglage qualitatif : c'est ce que nous avons appelé le réglage par « surcompression ».

La pratique montre en effet que si la combustion d'un mélange tonnant est d'autant moins rapide que ce mélange devient plus pauvre, on peut augmenter la vitesse de propagation de la flamme par une augmentation croissante de la compression préalable. Ce phénomène n'a rien qui doive surprendre à priori, puisque, en fait, par des augmentations successives de compression, on rapproche de plus en plus les molécules des gaz les unes des autres, et il est naturel, qu'en leur milieu, les réactions se fassent dès lors plus rapidement.

Nous opérions de la façon suivante : L'admission normale du moteur était inférieure au volume total du cylindre et par conséquent le diagramme de pleine charge du moteur était, par rapport à un cycle Beau de Rochas, à détente prolongée. Nous savons que cette méthode favorise l'élévation du rendement thermique des machines ; son seul inconvénient est d'exiger, à une puissance égale, des cylindres plus volumineux qu'en marchant à admission pleine.

Pour régler la machine à charge réduite, nous diminuions la quantité de gaz admis par chaque aspiration comme dans le réglage qualitatif, mais en même temps, nous augmentions le volume d'admission de l'air comburant, de sorte que, finalement, pour diminuer la puissance de la machine, nous remplissions de plus en plus les cylindres pendant le premier temps du cycle, mais en admettant un mélange tonnant de plus en plus pauvre en calories. Comme le volume des chambres de cylindres restait évidemment invariable, et que les volumes à comprimer deve-

naient plus grands, il s'ensuivait évidemment que par ce procédé de réglage les compressions allaient en croissant.

Au temps où une compression de 8 kg passeit déjà pour très élevée, nous pûmes atteindre ainsi des compressions finales de 12 kg, très favorables pour la combustion rapide de mélanges très dilués.

Ces résultats, montrant qu'on pouvait arriver à marcher sans inconvénients à haute compression avec un mélange pauvre, on en arriva peu à peu à prendre 10 à 12 kg, et même davantage, comme valeur normale de compression des moteurs.

Or, nous avons vu *(fig. 4)* qu'il n'y a pas intérêt, même théoriquement, à dépasser ce chiffre de compression dans les moteurs à explosion.

Le réglage par surcompression ne présente donc plus aujourd'hui le même intérêt qu'autrefois.

Du reste, avec les emplacements pris nécessairement dans les cylindres par les conduits aboutissant aux boîtes à soupapes, il devient très difficile de réduire plus qu'on ne le fait actuellement le volume des chambres, et pour avoir de fortes compressions, on est bien forcé de profiter de toute la course des pistons.

Dans les moteurs modernes, pour atténuer les défauts du réglage qualitatif, auquel certains constructeurs tiennent beaucoup, non tant parce que par ce procédé la compression reste constante, mais surtout parce qu'on n'a pas ainsi à subir de dépression dans les cylindres après les admissions réduites, ce qui exige de très forts ressorts pour maintenir les soupapes en place, on fait des admissions variables de plus en plus retardées d'un mélange tonnant de composition constante quand le moteur doit être plus déchargé, et, afin de ne pas faire varier la compression finale, on fait précéder ces admissions d'une charge d'air pur. Par ce procédé, la soupape à gaz se ferme toujours à fin de course d'aspiration, mais s'ouvre pendant la course du piston à des moments variables.

Une autre considération qui fait recourir certains constructeurs au réglage qualitatif, c'est que lorsque les compressions diminuent, les forces d'inertie des pièces en mouvement ne sont plus équilibrées aussi bien et si alors les coussinets des têtes de bielle n'ont pas été ajustés avec tout le soin désirable, la marche donne lieu à des chocs.

Le procédé n'est pourtant pas parfait, car si en opérant ainsi

on arrive bien à reculer, dans une certaine mesure, le moment où les ratés se produisent, ce qui peut paraître suffisant pour la régularité de la marche des moteurs, il ne résulte de son emploi aucune amélioration sensible du rendement thermique aux faibles charges. Par l'admission retardée d'un mélange de composition constante, on espérait que les gaz tonnants ne se mélangeraient pas à l'air pur précédemment introduit dans les cylindres, mais la stratification complète entre deux volumes de gaz admis successivement dans un cylindre est encore bien plus difficile à obtenir qu'un mélange parfait. Aussi subsiste-t-il toujours dans ce cas des pertes importantes par des combustions incomplètes dues à la diffusion d'une partie du mélange tonnant dans un trop grand volume d'air.

En somme, on n'arrive ainsi à faire, par des moyens compliqués, que ce qu'Otto avait réalisé dans son tout premier moteur avec des dispositifs d'une grande simplicité.

Certains constructeurs ont attribué les inconvénients du réglage par admission retardée du gaz à la différence de vitesse des éléments gazeux admis à des moments différents; ils ont alors imaginé des tiroirs compliqués qui déterminaient d'abord l'ouverture de lumières d'air, puis leur fermeture pour ouvrir ensuite en même temps des lumières d'air et de gaz.

Les résultats obtenus ainsi ne furent pas meilleurs. Il est d'ailleurs probable que ce ne seront jamais des combinaisons, si ingénieuses soient-elles, de soupapes ou de tiroirs, qui permettront d'arriver à une stratification entre deux gaz soumis à des remous violents dans une même enceinte.

Pour donner aux moteurs à gaz des vitesses très constantes quelle que soit leur charge, il suffit, les volants étant par hypothèse de poids suffisant bien entendu, d'opérer le réglage par variation de la surface des diagrammes; mais si l'on veut d'autre part que la marche reste économique aux faibles charges, il faut en outre que les diagrammes restent toujours corrects.

Si on reproche en général aux moteurs à gaz leur manque d'élasticité, c'est précisément parce qu'on se trouve forcé, pour avoir une marche économique, de les faire fonctionner très près du maximum de puissance dont ils sont capables.

Mais que les constructeurs arrivent à pouvoir garantir des consommations basses, par exemple à 70 0/0 du maximum de charge, et immédiatement les moteurs à gaz deviendront de ce

fait d'une élasticité comparable à celle des machines à vapeur. Il faut du reste observer qu'on ne peut profiter que rarement de la grande élasticité des machines à vapeur, attendu que si les machines sont capables de fortes surcharges, les chaudières qui les alimentent ne le sont guère. En fait, dans les stations centrales, les dynamos ou alternateurs commandés ne peuvent supporter que des surcharges assez limitées, et, par conséquent, on ne peut pas dire que dans ce cas particulier le moteur à gaz soit très inférieur à la machine à vapeur au point de vue de son élasticité.

La théorie et la pratique indiquent que le meilleur moyen actuellement connu pour faire marcher économiquement un moteur à gaz dans des limites de puissance très étendues, c'est de le régler par admission variable d'un mélange constant en partant de la compression préalable la plus élevée possible, eu égard, bien entendu, à la nature du gaz combustible à employer. Pour les moteurs dits à explosion, il n'est d'ailleurs pas nécessaire de dépasser jamais la compression de 15 kg par centimètre carré, parce que, ainsi que nous l'avons vu, à partir de cette valeur, le rendement thermique des machines ne croît plus que très faiblement, même avec une augmentation notable de la compression.

L'inconvénient du procédé est qu'au fur et à mesure de la réduction des admissions, les volumes à comprimer devenant plus petits et la capacité des chambres restant constante, les compressions vont en diminuant.

Par contre un mélange tonnant de composition constante même admis en quantité variable a le grand avantage de donner des combustions bien plus parfaites qu'un mélange appauvri, malgré sa dilution avec la quantité constante de gaz résiduaire d'échappement qui reste dans les chambres des cylindres au moment de l'aspiration.

En réalité, en opérant par le réglage quantitatif, on consent pour les faibles charges à une légère diminution de rendement pour éviter les pertes plus grandes qui se produisent pratiquement par d'autres moyens.

Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'inconvénient des admissions fractionnées est de nécessiter des ressorts très puissants pour maintenir les soupapes d'admission et d'échappement en place, quand un vide partiel prend naissance dans les cylindres, il faut compter devoir employer à cet effet des ressorts accusant

une fois montés une tension initiale de 800 g environ par centimètre carré de section utile de soupape. Cette nécessité n'a qu'un inconvénient relatif, car lorsqu'on donne aux ressorts des dimensions suffisantes, on peut d'abord s'en servir en toute sécurité et quant aux efforts supplémentaires demandés aux organes de distribution pour les faire manœuvrer, ils sont en général compensés au moment des fermetures. Certains constructeurs, pour éviter l'emploi de ces ressorts puissants ou pour diminuer leur tension initiale, ont imaginé des systèmes de blocage pour empêcher les soupapes de s'ouvrir par dépression. On a eu recours, en particulier, à des combinaisons qui tendaient les ressorts de rappel pendant les périodes où les soupapes n'avaient pas à fonctionner. Dans bien des cas, le remède est pire que le mal : en effet, lorsqu'on emploie de forts ressorts, on n'a à vaincre leur résistance que pendant une seule course, tandis que lorsqu'on les tend en dehors des moments de manœuvre des soupapes, on produit un travail résistant pendant trois courses, et par conséquent, le rendement mécanique de la machine doit plutôt alors être moins bon.

Afin de bien faire ressortir les avantages qu'on peut retirer, au point de vue thermique, du réglage quantitatif lorsqu'on part d'une compression élevée nous donnerons un exemple numérique.

Par l'examen de la courbe des rendements *(fig. 4)*, on voit qu'une variation de compression entre 10 et 15 atm, a peu d'influence sur le rendement, mais il faut remarquer en outre que, même en faisant sur un moteur des admissions de plus en plus courtes on ne se trouve plus dans les conditions ordinaires du cycle de Beau de Rochas, car le rapport du volume de la chambre de compression au volume total du cylindre ne change pas et, par conséquent, la valeur de la détente reste constante.

On réalise donc, avec un réglage par admission variable, des cycles à détente prolongée par rapport à leur volume réel d'admission et leur rendement reste par ce fait bien plus élevé que si ce supplément de détente n'existait pas.

Considérons, en effet, un moteur dont la compression en pleine charge atteint 13 atm: son rendement théorique est de 44,6 0/0. En supposant que pour tourner à vide il faille réduire les admissions à 23 0/0 de la cylindrée, ce qui est à peu près exact, la compression tomberait à 4 atm. Cette compression avec un cycle ordinaire de Beau de Rochas ne donnerait qu'un rendement de

27 0/0, mais par suite de la conservation de la détente prolongée, ce rendement remonte à 40,2 0/0 (1).

En résumé donc, à la condition que les mélanges admis brûlent toujours aussi rapidement et aussi complètement, le rendement indiqué d'un moteur à réglage quantitatif ne devrait diminuer que de 10 0/0 en passant de la pleine charge à la marche à vide pourvu toutefois que la compression initiale de pleine charge atteigne de 12 à 15 atm.

Nous verrons quand nous parlerons des résultats d'essais qu'on peut tendre vers ces données de la théorie.

D'après des essais faits en Allemagne, sur de grands moteurs, il semble pourtant résulter qu'en somme, les réglages qualitatifs et quantitatifs se valent, et donnent aux faibles charges des résultats équivalents.

La vérité c'est que dans ces essais on a bien examiné des moteurs à réglages quantitatifs, c'est-à-dire à admissions variables mais cette condition ne suffit pas pour obtenir de bons résultats : il faut encore que les mélanges admis restent de composition constante, sans quoi on ne fait alors qu'une sorte de réglage mixte par appauvrissement et diminution de compression qui déforment fortement les diagrammes et font baisser les rendements tout aussi rapidement que le réglage simplement qualitatif. Autant en rester alors à ce dernier procédé. Faire des admissions variables d'un mélange de composition constante n'est pas en effet aussi facile à réaliser qu'on pourrait le croire au premier abord : lorsqu'on aspire deux gaz différents en même temps, comme de l'air et du gaz, les moindres variations de pertes de charges dans les conduits ou dans les lumières du cylindre déterminent des débits sensiblement variables des deux éléments qui doivent constituer le mélange. Cette observation n'a pas assez retenu jusqu'ici l'attention des constructeurs ainsi que nous allons le voir par la description des principaux systèmes de distribution employés ;

a) La soupape de mélange est commandée indirectement par un jeu de leviers qui prend son mouvement sur le levier principal de commande de la soupape principale d'admission. Un galet interposé entre deux leviers droits, dont les articulations sont tournées en sens inverse, détermine suivant la position qu'il occupe une amplitude variable du levier commandé alors que le

(1) *Les Moteurs*, par L. Letombe ; J. Baillière et fils, éditeurs, Paris.

levier qui commande garde une amplitude constante. Le levier commandé est naturellement celui qui appuie directement sur la tige de la soupape du mélange. Le galet qui peut rouler entre les leviers, est sous la dépendance du régulateur et suivant la position occupée par ce dernier, les levées de la soupape de mélange sont plus ou moins grandes, bien que les durées d'ouverture restent constantes. En opérant ainsi, les soupapes de mélange restent donc ouvertes pendant le maximum du temps d'aspiration, mais elles s'ouvrent d'autant moins que la machine est plus déchargée. On obtient donc ainsi une réduction d'admission par un laminage de plus en plus grand.

La pratique montre que, par ce moyen, la composition du mélange tonnant ne reste pas constante, parce que les laminages causent dans les orifices des pertes de charge variables, qui modifient les aspirations. Lorsqu'on relève des diagrammes sur un moteur muni d'une telle distribution, on voit que les combustions se font d'une façon de plus en plus ralentie au fur et à mesure que les dépressions à l'admission augmentent dans les cylindres. C'est l'indice certain d'une variation dans la composition du mélange.

b) Dans les moteurs du type « Union », dans la construction desquels on a surtout eu en vue la simplification des organes, la distribution à l'admission ne comporte comme organe commandé que la soupape principale. Dans les conduits d'air et de gaz aboutissant directement à la boîte de cette soupape, se trouvent des papillons soumis à l'action du régulateur. La soupape de mélange placée en arrière de ces papillons est purement automatique et ne se soulève que sous l'influence de l'aspiration du piston.

On conçoit que plus les papillons seront étranglés, et moins le cylindre prendra de mélange. D'autre part, les pertes de charges créées par les papillons, laissant derrière eux une dépression de moins en moins grande, les soupapes de mélange s'ouvrent elles-mêmes alors de moins en moins. Au point de vue de la correction des diagrammes, ce dispositif est encore moins bon que le précédent, parce que les soupapes automatiques d'aspiration n'ont jamais de levées bien régulières ;

c) On a aussi essayé de mouvoir les soupapes par l'intermédiaire de leviers à déclic dont on provoquait le déclenchement à un moment variable de leur course, de façon à couper brusquement les admissions. Le procédé est évidemment meilleur,

mais on ne paraît, là encore, n'avoir eu recours qu'à des dispositifs qui créent également des pertes de charge variables.

Par imitation des systèmes à déclic employés dans la construction des machines à vapeur, les organes de distribution sont soulevés d'un mouvement continu, et c'est par la rencontre d'un obstacle dont la position dépend des mouvements de régulateur que le déclic se produit.

Il est clair que dans ce cas, pendant toute la durée des admissions, les lumières sont découvertes de quantités qui varient suivant la charge du moteur. Ces variations d'ouverture suffisent pour troubler le mélange et conduire à des diagrammes déformés.

Au lieu d'employer des soupapes doubles pour l'admission de l'air et du gaz, les constructeurs ont eu souvent recours à l'emploi de tiroirs cylindriques, qu'ils plaçaient de préférence concentriquement à la soupape d'admission : on obtient ainsi une simplification d'aspect qui n'est pas une simplification au point de vue mécanique car on ne favorise pas ainsi le démontage des pièces. Nous estimons qu'il est préférable, dans tous les cas, de mettre les organes de mélange à côté des soupapes d'admission, parce que, lorsque l'épuration des gaz laisse à désirer, ce sont toujours les soupapes à gaz qui se salissent les premières et qu'il faut par conséquent démonter le plus souvent.

Une machine simple n'est pas une machine qui cache ses organes, mais, au contraire une machine dont toutes les parties sont facilement réglables et visitables. L'aspect extérieur est d'importance secondaire.

Remarquons en passant que le tiroir cylindrique a l'inconvénient de nécessiter un graissage, et que, lorsque les gaz contiennent des impuretés, ces tiroirs peuvent gripper dans leur logement et causer ainsi des arrêts.

L'emploi de soupapes pour la distribution des moteurs à gaz est de beaucoup préférable.

Dans le moteur dont nous avons donné la description plus haut, nous avons résolu le problème de l'admission variable d'un mélange de composition constante d'une manière relativement simple. Nous avons dit que dans cette machine la soupape de mélange était commandée par le mouvement même de la soupape d'admission *(fig. 12)*; ce mouvement est disposé de telle manière que l'ouverture de la soupape du mélange est très accélérée pour arriver en un temps aussi court que possible à un état de repos en attendant le moment où le déclic doit se pro-

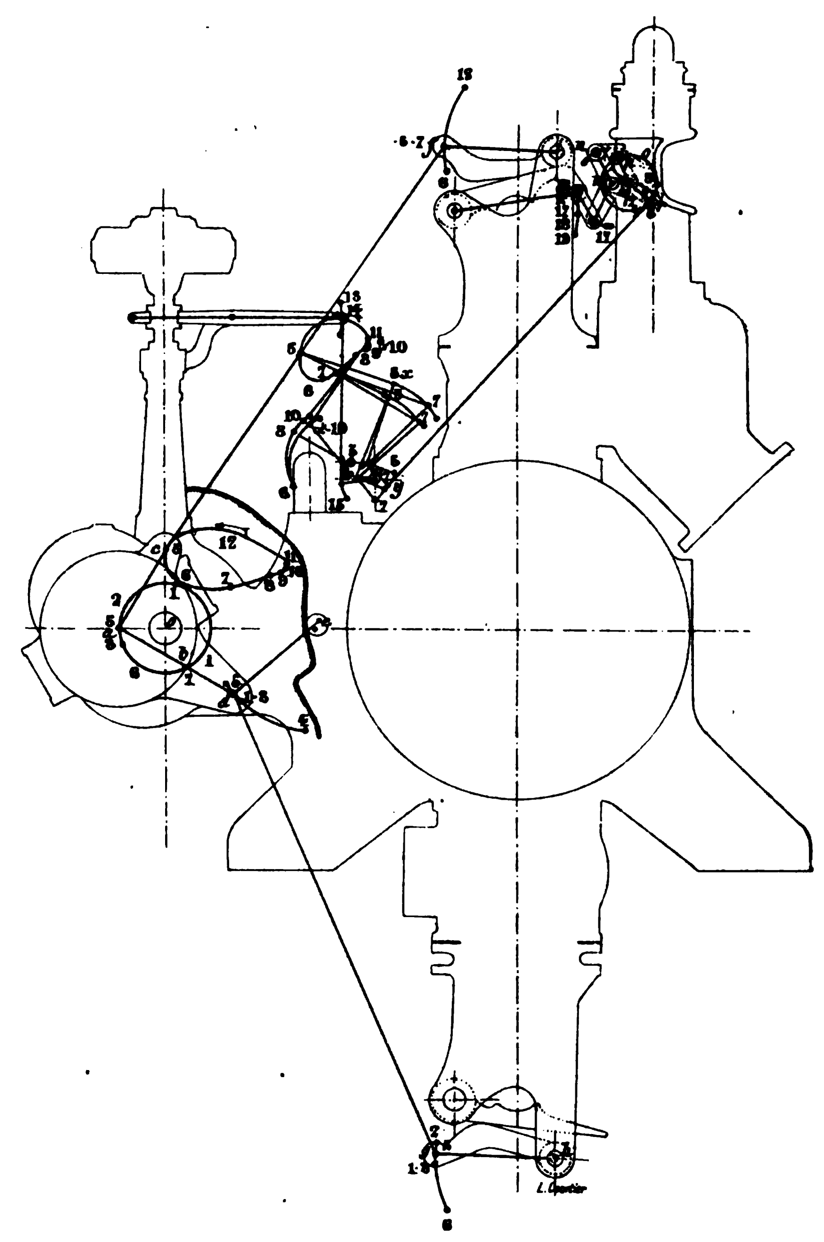


FIG. 12. — Epure de distribution d'un moteur de 1 000 ch (Letombe).

Oa, rayon de l'excentrique;
ad, bielle d'excentrique;
ed, levier intermédiaire;
dg, bielle d'échappement;
gh, levier d'échappement;
af, bielle d'admission;
fi, levier d'admission;
jk, levier roulant;
mn, *pqr*, leviers des soupapes de mélange;
o, queue du déclic;
*pq*5, levier de déclenchement;
*y*5, bielle de commande;
xy, levier d'équerre;
5*x*, bielle de commande;
ut, levier commandé par le régulateur;
5, 6, 7, arcs d'admission;
1, 2, 3, arcs d'échappement.

duire. A cet effet, les leviers de commande sont orientés comme dans certains distributeurs Corlis, où l'on voit notamment les obturateurs rester sensiblement immobiles pendant une partie du temps de leur fonctionnement (points 17). Il est clair que dans ce cas ce n'est pas le mouvement même d'ouverture de la soupape qui peut provoquer le déclenchement du déclic, aussi, dans cette machine, a-t-on dû employer un mouvement spécial à cet effet. L'origine du mouvement de déclenchement est prise sur un point 5 de la grande bielle de commande de l'admission. Ce point décrit unecourbe en œuf. On peut obtenir ainsi, par des bielles et des leviers convenablement disposés, un mouvement alternatif orienté dans n'importe quel sens. Dans l'espèce, le mouvement est renvoyé à la soupape de mélange par l'intermédiaire d'un levier d'équerre x, y, dont la position du centre d'oscillation dépend de la hauteur de collier du régulateur. La pièce de déclic porte une queue concentrique à l'axe des leviers qu'elle rend momentanément solidaires l'un de l'autre de façon que dans le mouvement relatif de ces leviers, cette queue puisse être considérée comme immobise.

Un galet p placé à l'extrémité d'un levier qui décrit, sous l'influence du renvoi de mouvement dont nous venons de parler, un angle dans un sens normal à l'arc formé par la queue du déclic, vient, à un certain moment, appuyer sur cette queue et provoquer ainsi le déclenchement qui séparera les leviers de commande et assurera la fermeture brusque de la soupape de mélange. L'angle décrit par le galet de rupture reste constant; mais, par suite du changement de position du levier d'équerre de renvoi de mouvement, cet angle occupe des positions variables dans son plan; il s'ensuit évidemment que ce galet arrivera à produire le déclenchement des leviers de réglage à des moments différents suivant la position occupée par la timonnerie du régulateur.

Remarquons qu'avec ces dispositifs, même pour de très courtes admissions, pendant le temps que durent les aspirations, il ne peut y avoir aucunes modifications de pertes de charge dans les conduites ou lumières soit d'air, soit de gaz du fait de la distribution. On se trouve donc bien ainsi dans les meilleures conditions pour que les admissions variables se fassent avec un mélange tonnant de composition constante.

L'examen des diagrammes relevés par M. E. François, au cours des essais qu'il a faits, en collaboration avec M. A. Witz,

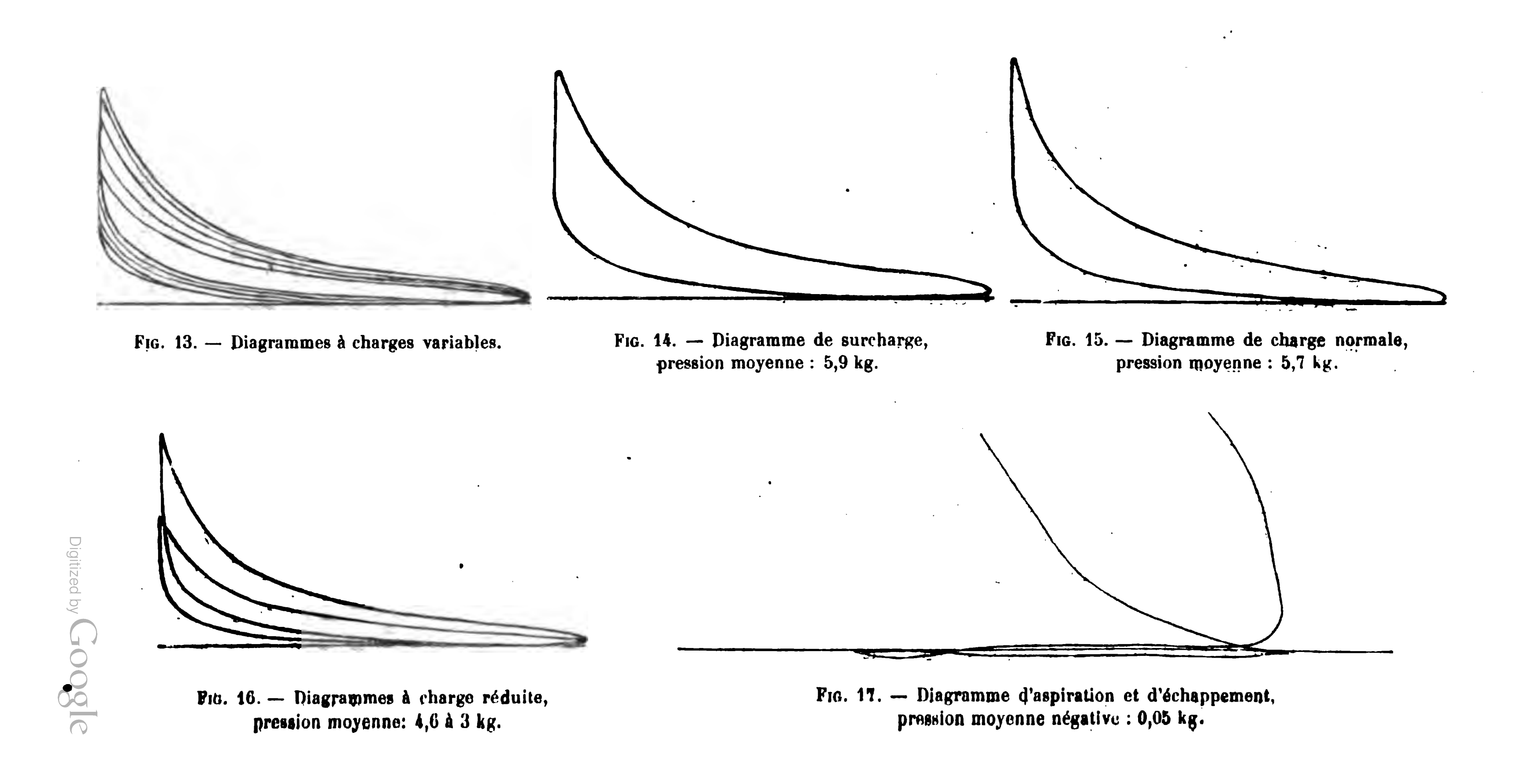


Fig. 13. — Diagrammes à charges variables.

Fig. 14. — Diagramme de surcharge, pression moyenne : 5,9 kg.

Fig. 15. — Diagramme de charge normale, pression moyenne : 5,7 kg.

Fig. 16. — Diagrammes à charge réduite, pression moyenne: 4,6 à 3 kg.

Fig. 17. — Diagramme d'aspiration et d'échappement, pression moyenne négative : 0,05 kg.

sur le moteur de 1 000 ch indiqués, que nous avons décrit, fait voir combien les allumages restent corrects à toutes les charges avec le système de réglage adopté (*fig. 13*).

La figure 14 montre un diagramme de surcharge; la figure 15 le diagramme de charge normale; la figure 16, les diagrammes à charge réduite, et enfin la figure 17 le diagramme d'aspiration et d'échappement pris avec un ressort de 14 mm par kilogramme.

Pour montrer d'autre part qu'on peut arriver ainsi à des consommations très réduites, sans être, à beaucoup près, en pleine charge, nous donnerons un résumé des résultats obtenus au cours de ces essais (1).

Caractéristiques du moteur :

Double effet tandem.

Diamètre des pistons.	720 mm
Course des pistons	800 mm
Diamètre des tiges de pistons.	210 mm
Puissance nominale indiquée.	1 000 ch

Les gazogènes de l'installation furent exclusivement alimentés de grésillon de coke de four contenant 22,3 0/0 de cendre à l'analyse (2). — Ce combustible étant resté à l'air, contenait 18 0/0 d'humidité et fut employé tel quel.

Le moteur actionnait directement un alternateur Oerlikon monté sur son arbre. Le travail fut mesuré électriquement en comptant pour le rendement de l'alternateur, 0,94.

1° Essai de consommation.

Durée de l'essai	8 h. 7 m.
Nombre de tours moyen	138,67
Puissance effective nette disponible.	705,15 ch
Consommation par cheval effectif correspondant en coke pur	350 gr
Puissance effective en comptant le travail des pompes de service entraînées par le moteur	740 ch
Consommation par cheval effectif dans ce cas	334 gr
Pression moyenne des diagrammes.	4,83 kg
Rendement mécanique	0,845
Consommation de coke pur par cheval-heure indiqué	294 gr

(1) Note communiquée à l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège, le 2 avril 1908, par M. Eugène François.

(2) Pour la description des gazogènes, voir *Bulletin* de janvier 1908, « Les gazogènes à gaz pauvre », par L. Letombe.

2° *Essai de surcharge.*

Nombre de tours moyen du moteur	142
Puissance effective	824,36 ch
Pression moyenne des diagrammes.	5,2 kg
Puissance indiquée	961 ch
Rendement mécanique	0,86

Les plus gros diagrammes obtenus indiquèrent une pression moyenne de 5,90 kg correspondant à 12 kg de compression et 28 à 30 kg à l'explosion (1).

En fait, on peut, en terminant les essais de surcharges, faire faire à la machine 914 chevaux effectifs, c'est-à-dire sur l'arbre 950 ch environ, en tenant compte de la puissance prise par les appareils accessoires, ce qui correspond sensiblement à 1 100 ch indiqués.

La surcharge possible a donc été de (961-740) : 705 = 0,30 environ.

Calcul des consommations en calories.

Pouvoir calorifique du coke pur.	8 110 calories.
Consommation par cheval-heure effectif disponible, en calories du coke	2 840 calories.
Consommation par cheval effectif en calories de gaz	2 272 calories.
Consommation par cheval-heure indiqué. .	1 829
Rendement thermique.	35 0/0

Ce chiffre est certainement un des plus bas qui ait été obtenus, et il est d'autant plus remarquable qu'il est loin de correspondre à la charge maximum du moteur.

Mise en marche des grands moteurs.

Pour la mise en marche des grands moteurs on emploie exclusivement de l'air comprimé emmagasiné dans des réservoirs remplis en temps utile soit par un compresseur mû par un petit moteur indépendant, soit par le moteur lui-même en faisant fonctionner momentanément l'un de ses effets comme compresseur.

Ce dernier procédé ne peut être évidemment employé qu'au-

(1) Note de M. François : Il y a lieu de remarquer sur les diagrammes pris avec un faible ressort, les avantages de la distribution à ouverture rapide de M. Letombe, au point de vue de la réduction des pertes de charge d'aspiration et d'échappement. Le diagramme négatif, en effet *(fig. 17)*, en pression moyenne est d'au plus 52 gr, soit 1 0/0 du diagramme de pleine charge. Ce diagramme a été relevé avec un appareil disposé pour donner ces indications sans jeu. On n'avait jamais trouvé, jusqu'ici, moins de 3 0/0.



tant qu'on dispose d'un moyen pour assurer la première mise en route sans le secours de l'air comprimé.

La manivelle du moteur ayant été amenée ou se trouvant dans une position qui correspond au cinquième d'une course de détente, il est clair que si de l'air comprimé est envoyé à ce moment sur le piston, le moteur se mettra en marche comme une machine à vapeur surtout si un mécanisme de distribution appropriée distribue successivement le fluide sous pression aux différents effets du moteur.

Remarquons qu'il n'y a besoin pour la distribution d'air comprimé que de mécanismes d'admission, les échappements se faisant par la distribution normale du moteur,

En général cette distribution d'air comprimé se fait par des soupapes additionnelles de dimensions réduites, actionnées par des leviers mus par des cames qu'on ne met en service que pour lancer le moteur et qu'on efface ensuite au moment d'admettre le gaz dans les cylindres.

Le mécanicien a ainsi plusieurs manœuvres successives à faire et entre ce moment où l'air comprimé est supprimé et celui où le gaz est admis on ne peut compter que sur l'inertie du volant pour entretenir le mouvement.

Si alors les explosions tardent à se manifester, pour quelque cause que ce soit, le moteur s'arrête et toutes les opérations sont à recommencer.

Pour éviter cet aléa qui est sérieux, surtout lorsqu'il s'agit de grands moteurs double effet tandem, pour lesquels le mécanicien a de trop longs parcours à faire pour les diverses manœuvres à effectuer, nous employons un système de distribution d'air comprimé absolument automatique qui ne gêne en rien la distribution normale du moteur. Une des particularités du système est que l'air comprimé ne peut pénétrer derrière la face du piston qui se trouve dans sa phase de détente qu'autant qu'une explosion n'a pas eu lieu ; de plus, quand la marche du moteur est devenue normale, il suffit de fermer le réservoir d'air comprimé pour que toute la distribution de mise en marche se débraie d'elle-même et ne donne lieu à aucun travail passif.

A cet effet, chaque extrémité de cylindre porte une soupape de retenue, maintenue sur son siège par un ressort simplement suffisant pour empêcher son soulèvement pendant les périodes d'aspirations normales du moteur. Pour éviter des fuites à l'extérieur, les boîtes de ces soupapes sont complètement fermées.

Ces organes peuvent se placer à un endroit quelconque des chambres de compression, car leur fonctionnement est entièrement automatique. Chacune de ces soupapes est en communication par un tuyau avec une boîte de distribution circulaire qui se trouve en bout de l'arbre de distribution *(fig. 18)*. Cette boîte porte une glace concentrique à l'arbre et percée de quatre trous à 90° les uns des autres s'il s'agit d'un double effet tandem ; ces trous communiquent par des conduits intérieurs avec les quatre tuyaux allant aux soupapes d'admission d'air comprimé. Sur la glace de la boîte s'appuie un tiroir circulaire portant une seule lumière. Celui-ci, entraîné par un carré sur lequel il peut coulisser, tourne avec l'arbre de distribution. Le

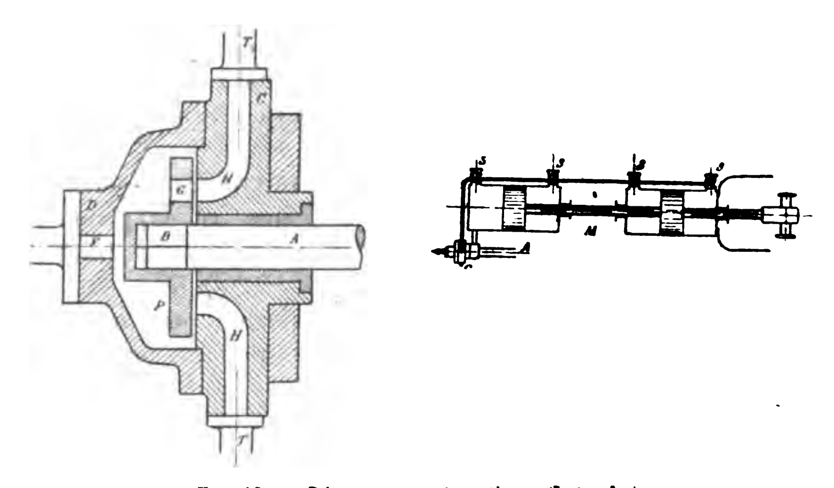


Fig. 18. — Démarreur automatique (Letombe).

A, arbre de distribution;
C, corps du démarreur;
H, H, conduits vers les cylindres;
P, tiroir coulissant sur le carré B;
G, lumière du tiroir;
D, couvercle;
E, arrivée d'air comprimé;
S, soupapes d'admission d'air comprimé;
M, moteur double-effet tandem.

couvercle de la boîte porte une tubulure par où arrive l'air comprimé lorsqu'on ouvre le réservoir.

Normalement, le tiroir proprement dit est libre sur son carré d'entraînement et n'appuie par conséquent pas sur sa glace ; mais, lorsque l'air comprimé est lancé dans l'appareil, le tiroir par inertie est projeté sur sa glace, et se trouve dès lors prêt à distribuer, par la lumière qu'il possède et qui a été convenablement orientée, l'air comprimé successivement aux quatre

extrémités de cylindre. Tant que la vanne d'air comprimé reste ouverte, le tiroir demeure naturellement en contact avec sa glace, mais dès qu'on la ferme, la pression tombe immédiatement dans la boîte et le tiroir cesse de porter.

Remarquons qu'avec le moteur double effet tandem, qui se comporte en somme comme un moteur à quatre cylindres à simple effet, il y a toujours une face de piston qui se trouve dans une phase de compression tandis qu'une autre est dans une phase de détente, temps pendant lequel toutes les soupapes sont fermées. Le moteur en arrêtant aura par conséquent toujours une tendance à laisser la manivelle dans une position correspondant à une demi-course des pistons, attendu que ceux-ci emprisonnent alors en opposition des volumes d'air égaux.

Il n'y aura donc pas en général de mise au point à faire pour remettre le moteur en marche.

Pour la machine de 1 000 ch indiqués que nous avons décrite plus haut, on opère de la manière suivante pour la mise en route : on commence par faire tomber tous les déclics des soupapes de mélange, de façon que lorsqu'on ouvrira le gaz, il ne puisse s'en répandre mal à propos dans les conduits; on ouvre alors les vannes à gaz, et ensuite la vanne de retenue du réservoir à air comprimé. L'air se précipite dens la boîte spéciale de distribution et se rend à celui des effets qui est à la période de détente. Le moteur se met doucement en marche et chacun des effets reçoit successivement de l'air comprimé à la façon dont les machines à vapeur reçoivent de la vapeur. Pendant ce temps, les périodes normales d'aspiration et de compression s'exécutent sans aucune gène, et dès qu'une explosion se produit dans l'un quelconque des cylindres, la soupape correspondante d'air comprimé reste appliquée sur son siège. Le moteur passe ainsi de la marche à l'air comprimé à la marche normale, sans que le mécanicien puisse seulement déterminer à quel moment la substitution s'est faite. Dès qu'on entend que les échappements se font normalement, on ferme l'arrivée d'air comprimé sur le réservoir, et sans qu'aucune manœuvre supplémentaire ne soit nécessaire, les organes spéciaux de mise en marche se mettent automatiquement hors de service.

Nous avons employé tout d'abord ce système pour la mise en route automatique des moteurs d'automobiles (1), et devant les

(1) Premier Prix du Concours Deustch. Salon de l'Automobile, 1905.

heureux résultats que nous avons obtenus, nous n'avons pas hésité à appliquer ce système qui est extrêmement simple aux moteurs fixes.

On arrive ainsi à faire des mises en route de moteurs à gaz qui ressemblent à s'y méprendre à des mises en route de machines à vapeur, avec cette différence toutefois en faveur du moteur à gaz, que ces mises en route sont excessivement rapides, alors qu'avec les grandes machines à vapeur il faut quelquefois les réchauffer pendant plusieurs heures avant de pouvoir s'en servir.

CHRONIQUES

N° 347-348.

SOMMAIRE. — La navigation du Haut-Rhin. — Propulsion électrique pour les grands navires. — Emploi combiné de l'air chaud et de la vapeur surchauffée dans les locomotives. — Drague hydraulique pour le Volga. — Un musée des moyens de transport à Berlin. — L'aqueduc des Pouilles. — Importation du charbon à Port-Saïd. — Détermination de la vitesse d'un mobile en mouvement.

La navigation du Haut-Rhin. — Nous avons déjà eu l'occasion d'appeler l'attention sur les efforts faits depuis quelque temps pour mettre la ville de Bâle en communication par eau avec les ports du Rhin et nous avons mentionné diverses tentatives faites avec succès pour amener dans cette ville des chalands chargés. Ces tentatives se sont traduites finalement par une exploitation à peu près régulière.

Voici, en effet, ce que nous lisions dans des journaux suisses en juillet dernier. De nouveaux progrès sont enregistrés dans le chiffre des remorqueurs et des chalands qui circulent régulièrement entre Bâle et Strasbourg, Mannheim, Ruhrort et d'autres localités. En prenant la seule période du 20 mai au 30 juin, on compte quinze courses avec seize chalands.

De nouvelles associations commerciales se sont jointes à celles qui avaient pris l'initiative du mouvement, de telle sorte que le trafic pour cette courte période dépasse déjà 6 000 t à la remonte contre 700 t seulement à la descente.

Il va sans dire que cette situation anormale se régularisera lorsque des travaux urgents auront été exécutés à Bâle pour faciliter la formation des trains descendants et le virage des remorqueurs. Quelques-uns de ceux-ci sont assez grands pour ne pouvoir trouver dans le Rhin la place nécessaire. Tel est le grand remorqueur à roues *Grand-Duc-Frédéric-de-Bade*, dont la longueur est de 71 m et qui est obligé, pour virer, de descendre à une douzaine de kilomètres en aval de Bâle. Cette circonstance présente d'assez grands inconvénients et notamment un retard de deux heures.

Quoi qu'il en soit, les résultats sont jusqu'ici très encourageants, comme on vient de le voir par les chiffres que nous avons cités. Les vapeurs sont de deux types différents : remorqueurs à roues et remorqueurs à hélice. 1° vapeurs à roues : *Grand-Duc-Frédéric-de-Bade*, 720 ch ; *Bendel III*, 600 ch ; *Colonia*, 500 ch ; 2° vapeurs à hélice : *Page*, 230 ch ; *Prince-Berthold-Frédéric-de-Bade*, 20 ch. Mentionnons, enfin, le chaland automobile à hélice *Saint-Nicolas*, de 80 ch.

Le trafic en amont de Bâle prend une certaine extension ; un service régulier a été organisé sur un parcours de 18 km, de Bâle à Rhein-

felden, et les rapides d'Augst n'ont point offert de difficultés insurmontables. En revanche, les bacs de Birsfelden, Grensach, Schweizerhalle et Augst sont très gênants, les câbles étant placés trop bas; le plus gênant de ces bacs est celui d'Augst, qui oblige les vapeurs à suivre la rive suisse à une place où la profondeur du fleuve est inférieure de 20 cm à celle relevée à Bâle.

Il n'a pas de doute que, lorsque les travaux pour la construction de l'usine hydraulique d'Augst seront terminés, on ne puisse prolonger le parcours navigable dans la direction du lac de Constance. L'usine d'Augst prévoit une écluse de 77 m de longueur sur 12 à 14 m de largeur, qui facilitera considérablement le trafic.

Une course récente du vapeur *Musmacher* mérite d'être mentionnée ici. Il avait quitté à 8 heures du matin le port de Strasbourg, mais, vu la hauteur des eaux, il ne put passer au-dessous du pont de Kehl qu'après trois heures de travail. On dut démonter complétement la cheminée, ainsi que l'abri du pilote. Après quoi, le *Musmacher* reprit sa course et arriva à Bâle après avoir réalisé pendant quinze heures une vitesse régulière de 8,4 km à l'heure.

Les succès obtenus sur le Rhin ont amené en Suisse un mouvement très sensible en faveur de la navigation fluviale. Ainsi, on annonce qu'une Société est sur le point de se constituer en vue d'organiser des services de navigation fluviale sur divers cours d'eau, Rhin, Aar, Limmat, Linth, Reus, etc.

Pour commencer, les services suivants, voyageurs et marchandises, seraient créés :

Sur le Rhin : Neuhausen-Zurzach; Koblenz-Laufenbourg ; Laufenbourg Niederschworstadt.

Sur l'Aar : Thoune-Berne; Berne-Aarberg, Bienne-Wangen (usine électrique) ; Aarau-Olten-Wangen; Aarau-Koblenz.

Selon l'ingénieur Gelpke et d'autres spécialistes, les parcours ci-dessus annoncés sont aussi facilement navigables que ceux de Bâle-Rheinfelden ou de Constance à Schaffouse.

A la tête de l'entreprise se trouve le comité de la Société de Navigation du Nord-Est-Suisse, nouvellement fondée. Des démarches sont faites auprès des grandes maisons de construction nautique pour les intéresser à la réalisation de ce projet.

Voici quelques renseignements tout récents sur la question dont nous nous occupons (1).

Lorsqu'on commença, vers 1903, à parler sérieusement de la navigation fluviale en Suisse, les ingénieurs et les industriels n'avaient guère en tête que le transport des marchandises. Ce fut la période du « Bâle port de mer ». Cette année, les regards des deux Sociétés qui s'occupent de la navigation sur le Rhin supérieur se tournent davantage — sans négliger, il va de soi, le trafic des marchandises — vers le transport des passagers sur le Haut-Rhin, de Bâle à Constance. Il ne s'agit pas encore de commencer les travaux qui doivent, en dépit de la chute du Rhin et des rapides de Laufenbourg, rendre le grand fleuve navigable sans

(1) *Journal de Genève*, du 16 septembre 1908.

interruption tout le long de la frontière suisse. Avec plus de modestie, en tout cas avec beaucoup de sagesse, ces associations procèdent par échelons. Il y aurait le tronçon de Neuhausen-Zurzach, celui de Koblenz-Laufenbourg, et celui de Laufenbourg-Niederschworstadt.

Les courageuses expériences de M. Gelpke, au printemps de 1906, ont démontré la parfaite navigabilité du tronçon Bâle-Rheinfelden. Au reste, le vapeur *Musmacher* n'a pas, de tout cet été, cessé ses voyages quotidiens de Bâle à Schweizerhalle, sur ce beau ruban de fleuve vert et silencieux. Et les Bâlois n'ont pas tardé à prendre goût à cette navigation paisible et pour eux toute nouvelle.

Or, le mois dernier (août 1908), l'Association pour la navigation sur le Rhin du nord-est de la Suisse demandait aux trois ateliers de construction de bateaux à vapeur Escher-Wyss, à Zürich, Sulzer frères, à Winthèrthur, et Ad. Saurer, à Arbon, d'entreprendre ou, du moins, de tenter sur certains parcours fluviaux du Rhin, de l'Aaar ou de la Linth, un service de passagers et de marchandises avec ou sans subvention de la Confédération ou des cantons intéressés.

Nous ignorons, pour l'heure, ce que ces trois maisons ont répondu. Mais l'idée a été favorablement accueillie dans le public. Un Comité vient de se former à Zurzach pour organiser, dès le printemps prochain, un service de navigation de Zurzach à Neuhausen, et s'était occupé d'obtenir quelques subventions des communes intéressées. De plus, le Comité du parti démocratique a invité M. Gelpke à venir à Zurzach donner une conférence publique sur l'œuvre dont il s'est fait, avec le succès qu'on sait, le persévérant champion.

Pour peu que, de Bâle à Schaffouse, toutes les localités riveraines suivent l'exemple de Zurzach, le Rhin sera navigable du lac de Constance à son embouchure, à peu près. A Neuhausen, à Laufenbourg et à quelques autres passages difficiles, un service d'automobiles relierait entre eux les tronçons navigables.

Le bateau type idéal de cette navigation a même été découvert à Zürich. C'est un vapeur à roues construit tout récemment par la maison Escher-Wyss et C[ie] pour un planteur et armateur brésilien. On l'a baptisé le *Nhandoy*. Long de 18 m et large de 3 seulement, il est établi tout entier en acier galvanisé et fait en ce moment quelques courses d'essais sur le lac de Zürich. Il a ceci de particulier que son tirant d'eau ne dépasse pas 0,20 m, que sa chaudière peut brûler indifféremment du bois, du pétrole ou du charbon, qu'il est démontable en trois pièces et que la manœuvre en est si aisée qu'un seul homme y suffit ; 45 passagers, au total, y peuvent tenir.

Il reste à examiner le côté financier, assurément délicat, de cette entreprise nouvelle. Les passagers afflueront-ils ? Il faut l'espérer, car les paysages verts et reposants du large Rhin suisse méritent d'être mieux connus.

Voici encore un renseignement qui a trait à la question qui nous occupe. A peine a-t-on mis en œuvre les fondations des grandes usines électriques de Laufenbourg et d'Augst-Wyhlen, sur le Rhin, qu'il est question d'en créer une troisième à Kembs, un peu en aval de Bâle.

Cette station est appelée à fournir l'énergie électrique à Mulhouse,

dont le développement économique est étonnant. Ce sont des industriels badois et alsaciens qui ont jeté la base de cette entreprise.

Dans la concession accordée en principe, il est spécifié que l'entreprise paie annuellement une redevance à l'Etat, qui deviendra propriétaire de l'usine, sans bourse délier, dans un délai de quatre-vingts ans, à moins qu'il ne préfère la racheter par anticipation.

Les tarifs doivent être approuvés par l'autorité et les services publics jouissent d'un tarif de faveur,

C'est sûr la rive gauche du fleuve, non loin du village alsacien de Kembs, que s'établira l'usine.

Une charte liant les divers états allemands riverains du Rhin, ainsi que la Hollande, a été signée. Aux termes de cette charte, il est exigé des concessionnaires de la future station d'électricité qu'ils créent une écluse, leur entreprise comportant un barrage. Or, la Prusse et les Pays-Bas entendent que cette écluse ait 170 m de longueur et puisse recevoir les rames de chalands en usage sur le cours inférieur du Rhin. Cette exigence fait surgir de telles difficultés qu'on prévoit à peine pour l'an prochain la conclusion des pourparlers.

Prenant en considération les charges qu'entrainerait pour les concessionnaires la réalisation du vœu formulé par la Prusse et la Hollande, les intéressés directs tels que le Grand-Duché de Bade, l'Alsace, le Wurtemberg et la Bavière, pour ne rien dire de la Suisse — qui, croyons-nous, n'a pas voix au chapitre — se contenteraient d'une écluse de 90 m, bien moins coûteuse que l'autre, et la Chambre de commerce de Mulhouse pousse activement à l'acceptation de cette solution.

On assure que, si tel n'était pas le cas, l'entreprise serait renvoyée à des temps meilleurs, soit même complètement abandonnée, et ce serait dommage, car, dans les conditions où elle se présente, elle constitue une amélioration considérable de la navigation entre Strasbourg et Bâle.

Propulsion électrique pour les grands navires. — La revue hollandaise *De Ingenieur* a donné une note de M. Van Ryn sur l'emploi de l'électricité pour la propulsion des grands navires dont nous trouvons le résumé suivant dans les Annales de l'*Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*.

On parait préparer en ce moment une expérience dans laquelle l'électricité jouerait un grand rôle pour la propulsion des navires.

Ce qui a amené ces recherches est la considération suivante : des turbines marchant à raison de 180 tours par minute, comme celles des paquebots Cunard *Lusitania* et *Mauretania*, ont une marche irrationnelle, car, pour cette faible vitesse, la consommation de vapeur est beaucoup trop élevée. Cependant on fut obligé de s'en tenir à cette vitesse parce que, en présence de l'énorme puissance à transmettre, il ne pouvait être question d'introduire des transmissions intermédiaires entre l'arbre de la turbine et celui de l'hélice et qu'on ne pouvait dépasser la vitesse de 180 tours pour cette dernière parce que, dans ces conditions, l'eau n'aurait pas été repoussée vers l'arrière par le propulseur, mais se trouverait projetée dans tous les sens, ce qui diminuerait dans une large mesure le rendement.

Pour éviter ce dilemme, on propose d'avoir recours à l'électricité : on accouplerait des génératrices aux turbines de manière à faire travailler celles-ci à la vitesse la plus favorable, tandis que les arbres des hélices porteront des électromoteurs mis en mouvement par le courant et dont le nombre de tours, vu la puissance considérable à transmettre, ne devra pas être de beaucoup supérieur à 180 par minute.

Un navire, des dimensions des derniers paquebots Cunard, pourrait, avec une puissance de 100 000 ch, atteindre une vitesse de 30 nœuds. Il devrait y avoir six génératrices de 20 000 ch, dont une de réserve. A chacun des quatre arbres d'hélice, on monterait six moteurs de 5 000 ch, dont cinq en fonction et un sixième prêt à être mis en route.

Pour la passerelle, la transmission électrique constituera une révolution, car les changements de vitesse et de sens de la marche se feront de là. Il faut avoir navigué pour se rendre compte de toute l'importance de ce changement. En des moments où une fraction de seconde peut avoir une influence décisive, il ne faudra plus commencer par transmettre des ordres à l'invisible chambre des machines, avec le danger d'être mal compris ou de les voir retarder dans l'exécution. La nouvelle disposition fera que c'est la personne même qui voit le danger qui manœuvrera pour l'éviter.

D'autres considérations doivent aussi intervenir. On peut, au moyen de la transmission électrique, éviter le danger de rompre les arbres d'hélice et de détériorer la machine quand les propulseurs, par forte mer, viennent à émerger.

L'électromoteur, lorsque l'hélice émerge, n'augmentera pas beaucoup de vitesse, de sorte que de cette manière le danger de rupture de l'arbre disparait. Mais le danger pour la machine motrice subsiste, car celle-ci ne prendra tout à coup plus qu'une partie insignifiante de la force totale.

Pour remédier à ce danger, on devra, ou bien monter une batterie-tampon en parallèle avec la génératrice, ou bien il faudra faire absorber la puissance par une résistance temporaire.

La première solution serait assez incommode sur un navire. La seconde est probablement moins économique, cependant on peut en attendre un bon résultat, quoique l'installation serait encore assez encombrante sur un navire comme le *Lusitania*.

On peut imaginer, par exemple, un dispositif d'après lequel, suivant la hauteur de l'arrière du navire, une partie plus ou moins grande de la résistance serait introduite d'une manière automatique dans le circuit. Tant que l'hélice est encore immergée, la résistance parallèle est si grande qu'il n'y passe pour ainsi dire pas de courant. Lorsque l'hélice sort peu à peu de l'eau, la situation change jusqu'à ce qu'elle émerge tout à fait; à ce moment, le courant absorbé par la résistance serait encore la moitié de la force totale de la génératrice, ce qui exclut tout danger pour les machines.

La quantité d'énergie qui se perd ainsi pour un instant dans la résistance peut être limitée en choisissant convenablement le métal. On doit cependant tenir compte de la période de tangage, et, par conséquent, de

la longueur du navire, ce qui conduit tout naturellement à considérer de nouveau le *Lusitania*.

On peut se représenter un navire suffisamment long et, par suite, porté sur tant de vagues successives que le tangage cesse pour ainsi dire complètement. Dans ce cas, il ne reste que l'avantage du travail économique des turbines. Pour des navires à turbines plus petits, il y a, en outre, la sécurité, tandis que pour les navires ayant des machines alternatives, la sécurité plus grande reste. Mais pour tous il y a l'avantage que le gouvernail et les machines sont dans la main du commandant.

Nous avons cru devoir reproduire cette note parce qu'elle fait voir des perspectives intéressantes dans l'emploi de la transmission électrique; il est, en effet, irrationnel de faire fonctionner des turbines à vapeur à des vitesses de 180 tours par minute. Mais il est un point sur lequel on doit faire les réserves les plus expresses, c'est la supposition qu'un futur navire semblable au *Lusitania* pourrait, avec une force de 100 000 ch, atteindre une vitesse de 30 nœuds; cette supposition ne peut provenir que d'un examen trop superficiel de la question.

D'abord, nous croyons qu'une puissance de 100 000 ch serait insuffisante pour obtenir la vitesse indiquée; la loi du cube des vitesses donnerait, pour les valeurs relatives de 25, mettons, si on veut, 26 nœuds, réalisée aux essais par le *Lusitania*, et de 30, rapport $\overline{1,154}^3 = 1,54$ soit une puissance de $68\,000 \times 1,54 = 105\,000$ ch. Nous accepterons toutefois le chiffre de 100 000 ch.

Cette puissance serait divisée en turbines à vapeur actionnant des dynamos génératrices et fonctionnant à grande vitesse, plus des dynamos réceptrices montées sur les arbres des hélices. Il est bien difficile d'admettre que, malgré l'accélération des moteurs, un tel ensemble, pour 100 000 ch, n'ait pas un poids supérieur à celui de quatre turbines à vapeur actionnant directement les hélices et développant seulement 68 000 ch. Pour faire la part belle au projet, nous admettrons encore que le poids soit le même dans les deux cas.

Mais ce n'est pas tout; il faut fournir de la vapeur à ces machines; or, pour passer de 68 000 ch à 100 000, soit de 1 à 1,5, il faudra porter le nombre des chaudières qui est déjà, dans le *Lusitania*, de 25, à 38, soit une augmentation de 13 et la surface de chauffe qui est de 14 400 m² à 21 600 ou 7 200 de plus.

Loger 13 chaudières de plus dans l'intérieur d'un paquebot n'est probablement pas chose facile, mais nous ne nous attacherons qu'à la question des poids. Des chaudières de ce genre doivent peser environ 250 kg par mètre carré de surface de chauffe, ce qui donnerait pour l'ensemble $7\,200 \times 250 = 1\,800$ t; chaque chaudière pèserait, avec ses accessoires et l'eau, 138 t. Il faut encore ajouter les condenseurs à surface avec leur eau et leurs accessoires, pompes de circulation etc., soit à 25 kg par cheval, $32\,000 \times 25 = 800$ t, ce qui donne un supplément de poids pour l'appareil moteur de 2 600 t.

La consommation du charbon qui est d'environ 1 000 t par vingt-quatre heures pour le *Lusitania* devra être portée à $1\,000 \times \frac{100\,000}{68} = 1\,470$

soit, pour les quatre jours de trajet effectué à la vitesse de 30 nœuds, $470 \times 4 = 1\,880$ t. Il y aurait lieu de tenir compte de la réserve proportionnelle à la consommation, nous compterons donc 2000 t en nombre rond. C'est donc un supplément de $2\,600 + 2\,000 = 4\,600$ t qu'on devrait placer sur une coque semblable à celle du *Lusitania* pour assurer à ce paquebot une vitesse de 30 milles à l'heure.

Or la charge utile du paquebot Cunard se compose simplement de 2330 passagers qui, à raison de 120 kg par tête (avec 50 kg de bagages) feraient un poids de 3000 t et de 1500 t de marchandises, total 4500 t. On voit que l'addition du poids représenté par la puissance supplémentaire nécessaire pour la réalisation de la vitesse de 30 nœuds absorberait un tonnage supérieur au chargement payant du paquebot qui serait ainsi réduit à ne porter que des lettres, source bien médiocre de profit pour rémunérer l'énorme coût de construction.

Si on conserve le chargement utile, il faudra trouver, dans un accroissement du tirant d'eau déjà considérable, les 4600 tonneaux nécessaires et il en résultera une augmentation correspondante de la section immergée et une autre de la puissance motrice nécessaire. On voit que le problème est insoluble sous cette forme et qu'il faut aborder franchement l'étude d'une nouvelle coque de dimensions très supérieures à celles des paquebots Cunard si on veut arriver au navire de 30 nœuds même avec l'introduction de la transmission électrique.

Quant à la question de la sécurité et de la rapidité de la manœuvre, il n'est pas encore démontré qu'on ne puisse pas arriver à faire commander depuis la passerelle, en cas d'urgence, des moteurs à vapeur actionnant directement les propulseurs. Il serait intéressant de faire des études dans cet ordre d'idées.

Nous pouvons ajouter ce qui suit. Le 2 novembre dernier, la question dont nous nous occupons a été discutée devant l'Institution of Marine Engineers, à Londres, à l'occasion d'une communication de M. W. P. Durtnall sur la propulsion électrique des navires faite précédemment dans la salle des Congrès de l'Exposition anglo-française. Dans cette discussion, les opinions paraissent avoir été très nettement tranchées.

Alors que les électriciens paraissaient favorables aux idées de M. Durtnall, les Ingénieurs maritimes s'y sont montrés unanimement opposés. D'après eux, toute complication dans une transmission ne peut qu'entraîner des pertes de travail ; or si, dans la disposition actuelle, la partie motrice d'un navire comporte trois parties, la chaudière, la machine et le propulseur, la propulsion électrique, par l'addition d'une génératrice et d'une réceptrice du courant, porte le nombre des parties à cinq au lieu de trois. On ne voit donc pas d'où pourrait provenir une économie de combustible.

Les arguments des électriciens ont pour point de départ la nécessité. pour un rendement avantageux des turbines à vapeur, d'avoir une vitesse constante et élevée, ce qui n'est pas réalisé dans les applications actuelles. On obtiendra alors des résultats très économiques qui compenseront largement les pertes occasionnées par les organes supplémentaires. Il est entendu, d'ailleurs, qu'il s'agit ici de turbines et que la disposition proposée ne saurait s'appliquer avec des machines alternatives.

Il y a là évidemment une question de chiffres, il faudrait être édifié, d'une part, sur les valeurs des rendements, et, de l'autre, sur celles des consommations des turbines pour établir la balance.

L'assemblée paraît avoir été d'avis qu'on ne possédait pas, à l'heure actuelle, les éléments nécessaires pour se prononcer en connaissance de cause sur le sujet et qu'il était convenable de renvoyer la suite de la discussion à une époque où cette lacune se trouverait comblée.

Emploi combiné de l'air chaud et de la vapeur surchauffée dans les locomotives. — L'emploi de l'air chaud mélangé à la vapeur dans les machines sans condensation est loin d'être une chose nouvelle. Il a été essayé par Warsop sous le nom d'aéro-vapeur, il y a près de quarante ans. On se souvient que notre collègue Morandiere donna, dans la séance de notre Société du 10 janvier 1873, lecture d'une note de Bergeron indiquant qu'à la suite d'une expérience d'un an sur une locomotive où l'économie de combustible apportée par l'addition de l'air chaud s'était élevée à 20 0/0, la Compagnie du Lancashire-Yorkshire avait décidé d'installer les appareils Warsop sur six autres locomotives.

Dans la Chronique d'octobre 1880, nous parlions du moteur simplex de Davey, basé sur le même principe. Vers 1885, Isherwood, Ingénieur en chef de la Marine des États-Unis, fit un rapport sur des expériences exécutées par lui sur le moteur Strange, également fondé sur le mélange d'air chaud et de vapeur et, dans la Chronique d'octobre 1905, nous avons donné des résultats d'essais faits sur la machine à vapeur et à air chaud de Field, l'auteur de la chaudière bien connue. Or, toutes ces machines dérivaient plus ou moins directement d'un moteur, dit « Cloud Engine », proposé par Storms, vers 1855, et peut-être pourrait-on remonter encore plus haut. Malgré les bons résultats obtenus, dit-on, ces machines ne paraissent pas avoir passé dans la pratique.

Cependant, M. Field ne semble pas s'être découragé et il a récemment tenté d'appliquer à des locomotives la disposition dont nous parlions en 1895 avec quelques modifications.

L'air est comprimé par une pompe mue par la machine à une pression sensiblement égale à celle de la chaudière et envoyé dans un appareil surchauffeur, où il se mêle avec la vapeur, et le mélange passe ensuite aux cylindres. L'avantage revendiqué consisterait en ce que l'air mélangé à la vapeur prévient, dans une certaine mesure, la condensation intérieure aux cylindres et ses effets fâcheux et, en outre, à ce que l'air chauffé par sa compression donne à la vapeur une surchauffe supplémentaire et, par conséquent, une température plus élevée.

Dans l'application, les compresseurs d'air sont placés en tandem devant les cylindres à vapeur et commandés par le prolongement des tiges de piston de ceux-ci ; ils compriment l'air à 200 livres (14 kg). Le surchauffeur consiste en une boîte plate placée contre la plaque tubulaire de la boîte à fumée et contenant des tubes qui se trouvent en prolongement de ceux de la chaudière. Des chicanes font circuler en tous sens la vapeur et l'air ; ce surchauffeur n'est pas autre chose que celui de Mac

Connell, dont nous avons parlé à la page 468 du Bulletin de septembre 1908 et qui remonte à 1852.

Les compresseurs ont des enveloppes à circulation d'eau alimentées par les caisses à eau du tender et destinées à prévenir l'échauffement de l'air pendant la compression.

Le système Field et Morris a été appliqué sur un certain nombre de petites machines où il a donné, paraît-il, des économies de combustible s'élevant à 15 et 20 0/0 et, depuis deux ans, à une locomotive à marchandises du North British Railway; puis, plus récemment, à une machine express, type *Atlantic*, de la même Compagnie; cette dernière a été soumise a des essais très complets dans un laboratoire d'expériences. L'*Engineer*, dans lequel nous trouvons les renseignements qui précèdent, ne donne pas les résultats de ces essais, il se borne à indiquer que l'économie trouvée par l'emploi de l'air chaud s'est élevée à 18 0/0 et ajoute que l'appareil a été également installé sur une locomotive d'une autre ligne non moins importante. Il est probable qu'on ne tardera pas à avoir des détails complets sur ces applications et les résultats qu'elles ont donnés.

Drague hydraulique pour le Volga. — Nous trouvons, dans l'*Iron Age*, la description très complète, faite par M. H. Prime Kieffer, d'une très puissante drague hydraulique, construite pour le Volga, sur les plans de notre distingué collègue, M. Lindon W. Bates, de New-York, qui est un spécialiste bien connu pour ce genre d'appareils. Cette drague a été construite dans les ateliers de la Société John Cockerill, à Seraing.

Nous donnons ci-après un résumé de la description dont nous venons de parler.

La drague est en deux parties; cette disposition a été imposée par la nécessité de lui faire traverser le canal Marie pour passer de la mer Baltique au Volga, ce canal n'ayant qu'une largeur assez faible. Chaque partie mesure 65,90 m de longueur sur 9,60 m de large et 2,75 m de creux. La coque tire 1,22 m d'eau à vide et 0,20 m de plus, c'est-à-dire 1,42 m en ordre de marche. Les deux parties, qui ont leurs appareils distincts, peuvent travailler ensemble et, dans ce cas, exécutent une tranchée de 19 m de largeur, mais habituellement elles travaillent séparément.

La drague opère par succion; chaque partie porte à l'avant quatre tambours à axe horizontal, portant à la périphérie des couteaux qui, dans leur mouvement de rotation, désagrègent le terrain suffisamment pour permettre au déblai d'être aspiré avec l'eau par de puissantes pompes centrifuges qui refoulent le mélange dans des conduits flexibles portés par des pontons et allant aboutir au lieu de décharge.

La drague est propulsée par des hélices mues par des moteurs électriques; il y a quatre de ces hélices, deux à l'arrière et deux à l'avant, ces dernières servant pour les manœuvres. Chacune est actionnée par un moteur de 135 ch, qui reçoit le courant triphasé à 550 volts d'un générateur de 600 kw, commandé directement par un moteur à quadruple expansion. La commande des appareils électriques est concentrée dans

la cabine du pilote, où se trouvent disposés, à gauche et à droite du chef dragueur, les commutateurs, rhéostats, contrôleurs et compensateurs. On a adopté le courant alternatif triphasé, parce qu'il permet d'avoir des appareils plus légers et plus économiques et qu'il donne plus de sécurité dans le fonctionnement, bien qu'il soit lui-même sujet à des inconvénients spéciaux.

Toute l'installation électrique a été faite par la General Electric Company, de Schenectady.

En dehors des hélices, les manœuvres sont opérées par des câbles enroulés sur des treuils placés sur le pont; ces treuils servent aussi à élever ou à baisser les tubes d'aspiration au moyen de grues placées à l'avant. Une échelle verticale indique la profondeur du dragage. Les couteaux à désagréger le terrain sont actionnés par une double machine compound placée à l'avant, sous le pont. Ces couteaux peuvent attaquer le fond à une profondeur maxima de 4,80 m.

Les tubes de succion sont au nombre de deux par drague et se réunissent en un seul à chaque pompe centrifuge. La décharge se fait par une seule conduite placée dans l'axe et qui se relie aux tuyaux placés sur les pontons; on emploie des joints articulés métalliques qui sont préférables, à divers points de vue, aux joints en caoutchouc. Chaque pompe est mue par un moteur de 1 500 ch indiqués. La vapeur est fournie aux diverses machines à vapeur par des chaudières à tubes d'eau, du système Babcok et Wilcox, au nombre de quatre pour chaque drague, desservies par deux cheminées.

Les pontons qui supportent les conduites de décharge ont des dimensions suffisantes pour que, lorsque les conduites sont pleines, le tirant d'eau ne soit que de 0,61 m. Les pontons sont semblables, sauf le premier et le dernier; leur longueur est de 15,50 m de centre en centre des accouplements; ils ont une section transversale en forme d'ellipse. avec un axe horizontal de 2,82 m et un axe vertical de 0,99 m. Les tuyaux, qui ont 0,838 m de diamètre, sont au centre des pontons, avec l'axe coïncidant avec celui de leur section. Diverses considérations ont fait adopter la forme elliptique, qui exige moins de poids et offre moins de résistance au vent, aux vagues et aux courants. L'articulation des tuyaux permet un angle de 10 degrés entre les axes des deux pontons consécutifs et, avec la longueur indiquée plus haut de 15,50 m pour chaque, l'ensemble peut se placer suivant une courbe de 100 m de rayon environ, ce qui fait que la longueur de 305 m est susceptible de former à peu près un demi-cercle.

L'appareil dont nous nous occupons, avant d'être dirigé sur le Volga, a été soumis à des essais très sevères par le Gouvernement russe. Une des dragues a été placée dans un bassin de 16 ha de superficie, à Drygoten, en Belgique, et l'autre a travaillé sur une barre, dans l'Escaut, à Steendorf, à 16 km d'Anvers.

Après diverses essais parallèles, l'épreuve officielle a eu lieu avec un équipage devenu familier avec la manœuvre de la drague.

Les résultats des essais de Drygoten ont donné :

Longueur draguée	305 m
Durée du travail	37,5 minutes
Avancement par minute	8,784 m
Épaisseur moyenne enlevée.	0,744 m
Cube extrait à l'heure	3 465 m³

Les matières à enlever étaient du sable peu compact et du sable compact argileux.

L'autre moitié de l'appareil fut essayée à Steendorf sur une barre formée de sable fin. En général, on ne trouve pas sur l'Escaut de terrains aussi faciles à draguer que sur le Mississipi et le Volga.

Voici les résultats obtenus sur la barre de Steendorf :

Longueur draguée	649,30 m
Durée du travail	180 minutes
Avancement par minute	3,608 m
Epaisseur moyenne enlevée	1,074 m
Cube extrait à l'heure.	2 191 m³

On a opéré, dans ces essais, avec 213,5 m de conduits de décharge. Le cube des déblais a été mesuré par des sondages au nombre de plus de 500. Ces essais ont permis de fixer d'une manière officielle la capacité de travail de l'appareil à 5 362 m³ à l'heure (7 000 yards cubes). On peut en conclure que, travaillant dans un terrain favorable, cette drague est capable d'extraire en un mois, à raison de dix heures par jour, un volume de déblais de 2 millions de yards cubes, soit 1 532 000 m³.

Un musée des moyens de transport à Berlin. — Lorsqu'il y a plusieurs années le chemin de fer de Berlin à Hambourg fut acheté par l'État prussien, la gare de cette ligne se trouva bientôt insuffisante en présence de l'accroissement continu du trafic et on dut construire une nouvelle station dans un autre emplacement. L'ancienne gare étant restée sans emploi, on songea à en faire un musée pour les chemins de fer et, après quelques années de préparation, ce musée a été ouvert au commencement de cette année. Il porte le nom de « Kgl. Verkehrs- und Baumuseum », c'est-à-dire Musée des transports et de la construction. Il est consacré aux chemins de fer, aux voies navigables, aux transports et à l'architecture.

On a laissé tel qu'il était l'extérieur, mais on a profondément modifié la distribution intérieure, notamment dans le sous-sol où on a installé une station de force pour l'éclairage, le chauffage et la production de l'air comprimé. Ce dernier est employé pour actionner certains appareils de démonstration. Dans une cour voisine se trouvent divers objets que leurs trop grandes dimensions empêchaient de placer dans les salles du musée.

Les pièces exposées sont divisées en trois catégories dont la première, les chemins de fer, est la plus importante; elle est subdivisée en huit groupes. Le catalogue ne comprend pas moins de 6 000 objets dont les quatre cinquièmes sont des modèles d'un prix élevé et le reste des dessins, photographies et livres.

On rencontre d'abord dès l'entrée, une collection de rails, traverses, aiguilles et croisements allant des plus anciens aux plus récents modèles, ainsi que des spécimens des outils pour la pose et l'entretien des voies. On trouve également des échantillons de rails et de traverses hors de service et des appareils d'essais pour montrer l'influence des chocs sur la voie au passage d'un matériel pesant. Des diagrammes représentent l'accroissement de poids, de longueur et de hauteur des rails depuis 1842. Sont exposés aussi des modèles de barrières de sûreté et de dispositifs pour passages à niveau. Cette question a une grande importance en Allemagne où on rencontre partout des passages à niveau gardés, tandis qu'en Angleterre on rencontre très peu de passages à niveau; aux Etats-Unis, en dehors des villes, les passages avec barrières et gardes sont à peu près inconnus. Le système anglais est idéal comme sécurité, mais il est extrêmement coûteux, et on est bien obligé de conserver les traversées à niveau, mais on doit les protéger le mieux possible.

Une seconde subdivision a trait à la construction des chemins de fer et contient des modèles de gares, de bâtiments d'administration, remises, réservoirs d'alimentation, etc. Une place à part est occupée par un superbe modèle de la gare d'Altona; c'est un type de la gare classique allemande; il est particulièrement intéressant, parce qu'il contient une station d'électricité pour la traction d'une ligne locale. De nombreuses photographies, des cartes et des diagrammes complètent cette partie.

Un autre groupe est consacré à une catégorie d'objets qui ont fait l'objet d'études spéciales en Allemagne et qui ont été très remarqués à l'Exposition de Saint-Louis où le Gouvernement allemand avait fait une exposition très complète établie dans un bâtiment spécial. Il s'agit des appareils de sécurité tels que signaux et changements de voie actionnés à la main ou par l'air comprimé, ou l'électricité, avec modèles pour voie unique ou pour double voie, etc., pouvant être manœuvrés. D'anciens types présentés à côté font voir le progrès accompli. Une cabine à signaux avec ses accessoires de grandeur naturelle est installée dans la cour.

Le quatrième groupe contient le matériel roulant qui occupe la plus grande partie du musée, On trouve quantité de modèles de vieilles machines et voitures placées sous des vitrines; ainsi la locomotive *Adler*, du premier chemin de fer établi en Allemagne, Nuremberg-Fürth 1835, et la *Borussia* du chemin de fer de Cologne-Minden de 1848 (1), des locomotives modernes de divers types, pour usage général, emplois industriels, chemins de fer de montagnes, des tenders, des modèles de parties réparées, bogies, chaudières et leurs accessoires, soupapes, sifflets, foyers, échantillons de tôles rivetées, tubes, etc. Une pièce intéressante est un abri de locomotive récente, de grandeur naturelle, avec tous les appareils à l'usage du mécanicien et du chauffeur. Un escalier permet au public d'y accéder et d'en faire un examen détaillé. Il en est de même du modèle de la boîte à fumée d'une locomotive à quatre essieux, dont trois accouplés avec surchauffeur Schmidt. Dans le voisinage se trouve

(1) C'est le type de la locomotive exposée à Paris en 1855 par Borsig et dont le mécanisme en acier attirait l'attention par son extrême légèreté.

une vieille chaudière datant de 1858, coupée dans le sens de la longueur pour faire voir l'intérieur et la tubulure et aussi les effets de l'eau et du foyer sur les parois correspondantes.

Les voitures et wagons sont encore plus largement représentés, on y trouve toutes les catégories de véhicules de première, deuxième, troisième et quatrième classes, wagons-postes, fourgons, wagons de secours, funéraires, restaurants, salons, sleeping-cars, etc. Un wagon à voyageurs de troisième classe, remontant à 1843, avec banquettes en bois nu, est exposé dans la cour. Des modèles représentent la composition des trains de marchandises; on y voit tous les types de véhicules, y compris les genres spéciaux, wagons pour longues pièces de bois, rails, chaudières, savons, produits chimiques, liquides, poisson, bestiaux, etc. On voit aussi des pièces détachées, freins, essieux, roues, attelages, appareils pour l'éclairage à l'huile, au gaz, à l'électricité, turbine à vapeur actionnant une dynamo, dispositifs de chauffage et de ventilation. Une chose très intéressante est une batterie de freins du système Westinghouse comprenant vingt freins et une autre semblable du système Carpenter; ces installations sont destinées à faire voir le fonctionnement des freins continus sur un train de vingt voitures. Ces appareils sont actionnés par l'air comprimé produit dans le sous-sol, comme il a été indiqué plus haut.

Actuellement, on se préoccupe très sérieusement, comme du reste dans tous les pays où l'industrie est largement développée, de l'introduction plus ou moins générale de la traction électrique; ainsi une partie spéciale a été réservée aux appareils concernant cette question. Grâce à des dons importants des deux principales Sociétés de construction électrique de l'Empire, on peut suivre dès le début le développement de ce mode de traction. Il n'y a pas moins de cinq cents objets exposés, conducteurs aériens et souterrains, isolateurs, câbles de transmission de courant, détails de matériel roulant, appareils de sûreté. Un modèle très intéressant est celui du fameux wagon électrique qui, pendant les essais sur la ligne Berlin-Zossen, réalisa la vitesse sans précédent de 200 km à l'heure.

Dans le groupe suivant se trouve exposé ce qui concerne les ateliers et les machines-outils. Les chemins de fer de l'Etat ne construisent ni machines ni wagons, mais ils possèdent six grands ateliers de réparations pour le matériel roulant. On trouve un modèle en relief de l'atelier d'Opladen. Pour les machines-outils il y a des modèles de tours pour roues de locomotive et pour essieux coudés, de marteaux-pilons, de presses hydrauliques à caler les roues, de vérins, de grues mobiles, etc. On voit un grand modèle, pouvant fonctionner, de l'installation de ventilation du tunnel Kaiser Wilhelm, près du Rhin. D'autres modèles sont disposés de la même manière. Il y a aussi des modèles de ferry-boats, d'ancienne et de nouvelle construction.

Une autre subdivision est relative à l'exploitation pour les voyageurs et les marchandises. On y voit des quantités de pièces imprimées, diagrammes, règlements pour les chefs de gare, aiguilleurs, conducteurs, garde-barrières, avec les uniformes et les outils. On doit mentionner un bureau de délivrance des billets complètement installé, avec machines à

timbrer, bascule pour peser les bagages, monte-charges, etc. Une collection très précieuse de billets, remontant à une époque déjà éloignée, est contenue dans un album.

En Allemagne, on se préoccupe particulièrement du bien-être du personnel. On trouve de nombreux modèles en relief d'infirmeries, maisons pour ouvriers, et employés, appareils médicaux, dispositions de désinfection, etc., avec aussi des plans et photographies y relatives. Des diagrammes indiquent les recettes et dépenses des chemins de fer depuis cinquante ans, ce qui met en évidence d'une manière frappante l'accroissement des recettes nettes. On voit un obélisque formé de trois blocs dont chacun représenterait en or les sommes totales dépensées pour les malades, les blessés et les invalides formant un total de 164 millions de francs pour la décade allant de 1895 à 1904. L'article dont nous extrayons ces lignes, et qui est emprunté à un journal américain, fait observer que ceci devrait être une leçon pour certaines Compagnies des Etats-Unis qui ne dépensent absolument rien pour les questions philanthropiques, bien que leurs recettes soient énormes.

Avant de terminer cette revue, il est bon de dire quelques mots de la partie concernant les voies navigables qui se trouve dans l'aile orientale du musée. Elle comprend les travaux de construction pour les rivières lacs, canaux, ports et côtes. On y trouve des modèles de barrages, réservoirs, écluses, viaducs, ponts, etc., de navires de diverses espèces, de dragues, de brise-glaces, de feux flottants, etc. On voit aussi deux locomotives électriques pour halage sur canaux et des modèles de phares, de projecteurs, de sirènes de brume. Un objet à signaler est un modèle en relief de l'île d'Héligoland.

Trois salles sont réservées au génie civil et à l'architecture. On y remarque de beaux modèles de bâtiments de l'État, ainsi que des photographies de ceux-ci. Des dessins apposés sur les murs font connaître les détails du chauffage, de la ventilation et de l'éclairage et on trouve des échantillons des matériaux de construction tels que marbre, pierres, granit, verre et linoleum.

On a adjoint au musée, plus récemment, une bibliothèque et une salle de lecture où se trouvent les journaux techniques et les ouvrages de même nature; on y trouve aussi quantité de dessins relatifs aux objets exposés.

Ce musée constitue une précieuse addition à la liste des établissements d'instruction publique que possède l'Allemagne et sa création doit être signalée comme un fait intéressant les Ingénieurs de tous les pays. On sait d'ailleurs qu'il a été créé à Munich un musée analogue, mais d'un ordre plus général. Nous en avons dit quelques mots dans les Comptes rendus d'avril 1908, page 673, à l'occasion d'un rapport de M. Ed. Sauvage à la Société d'Encouragement.

Ce que nous avons donné ci-dessus sur le musée de Berlin est résumé d'un article de M. Bruno Braunsburger, paru dans l'*Engineering News*.

L'aqueduc des Pouilles. — Depuis longtemps, le Gouvernement italien poursuit l'étude d'un projet colossal conçu en faveur d'une des régions les plus déshéritées de l'Italie. Les Pouilles, l'antique Apulie

qui fut, dit-on, le grenier de Rome, sont aujourd'hui dépourvues de l'élément le plus nécessaire à la vie de l'homme. L'eau fait à peu près complètement défaut dans cette partie méridionale du versant des Apennins bordé par l'Adriatique. Les trois provinces de Foggia, Bari et Lecce, qui composent cette région, n'ont aucun fleuve important et aucune source abondante. Nous reproduisons les renseignements suivants sur le projet grandiose destiné à porter remède à cette situation aux *Annales des Travaux publics de Belgique*.

La difficulté était, non pas dans la question technique, mais dans les moyens financiers. Il ne pouvait être admissible de mettre à la charge des provinces intéressée la dépense très importante que devaient entraîner les travaux projetés. L'Italie tout entière devait les supporter et, dans ces conditions mêmes, le sacrifice était déjà très lourd.

Aujourd'hui, les divers obstacles paraissent aplanis et il semble que la solution soit prochaine. C'est donc le moment de donner quelques détails sur cette entreprise, qui est appelée à retenir l'attention publique aussi bien à l'étranger qu'en Italie même.

Le principe du projet adopté par le Gouvernement consiste à capter les sources du fleuve Sele sur le versant méditerranéen, à Caposele, et à conduire les eaux vers les Pouilles par un aqueduc traversant les Apennins.

Le point d'origine de l'aqueduc serait situé à 418 m au-dessus du niveau de la mer. A peu de distance se ferait la traversée de la crête de passage par un tunnel de 12 km de longueur. L'aqueduc principal, qui pourrait débiter 4 m^3 par seconde, comprendrait au total 50 km de tunnels, 188 de tranchées et 7 de siphons. De ce tronçon commun partiraient des branchements destinés à alimenter les trois parcours des Pouilles, ainsi que diverses localités des provinces d'Avellino et de Potenza.

Le projet comporte l'alimentation de 208 villes et communes, dont la population s'élève actuellement à 1 836 000 âmes. La quantité d'eau délivrée par tête et par jour varierait, selon l'importance des localités, de 40 à 90 l.

L'aqueduc desservant chaque agglomération serait construit jusqu'au centre de celle-ci ou, tout au moins, à proximité. L'établissement de la canalisation intérieure des communes incomberait à celles-ci.

La dépense qui, dans un projet primitif, avait été fixée à 183 millions, a ensuite été ramenée à 136 millions, somme dans laquelle on comprenait les réseaux intérieurs des communes. Aujourd'hui, la dépense mise à la charge de l'État, d'après les combinaisons ci-dessus indiquées, est estimée à 125 millions.

Le Gouvernement italien avait eu, tout d'abord, l'intention de faire de ce travail l'objet d'une concession. Une adjudication, qui eut lieu en 1903 dans cette hypothèse, réunit douze offres, mais celles-ci furent jugées inacceptables par l'État, qui se décida à tenter l'entreprise par ses propres moyens.

Une loi, votée par le Parlement en 1904, fixa les principes du nouveau projet. On prévoit l'achèvement des travaux pour 1921 et les crédits sont reportés par annuités de 4 à 8 millions. L'aqueduc doit être cons-

truit sous la direction du Ministre des Travaux publics par voie d'adjudication.

Le 1er mars 1905 a eu lieu une première formalité concernant l'admission à l'adjudication. Quinze demandes sont parvenues de la part d'entrepreneurs et de Sociétés, dont six italiens, trois français, trois anglais, un allemand et deux belges. Douze ont été agréées. De ces douze entrepreneurs, six seulement ont déposé le cautionnement provisoire d'un million.

L'adjudication définitive a eu lieu le 3 mai 1905 et a réuni quatre concurrents. L'offre la plus basse a été faite par la Société Ercole Antico et Cie, de Gênes, qui a accepté d'entreprendre le travail pour 124 millions de lire.

Voici quelques renseignements complémentaires sur l'ouvrage dont nous nous occupons.

Les sources du fleuve Sele qu'il s'agit de capter à Caposele ont un débit variant de 3 870 à 5 930 l, soit en moyenne 5 m³ par seconde.

L'aqueduc principal présente, dans une première section d'une longueur de 60 km, entre les sources et le branchement de la province de Foggia, des dimensions permettant un débit de 4 000 à 4 500 l par seconde.

Il est ensuite proportionné pour un débit de 3 500 jusqu'à Spinazzola et de 2 600 jusqu'au branchement vers Corato. De celui-ci jusqu'à la conduite d'alimentation de Bari, le débit prévu est de 2 300 l, puis jusqu'à celles de Tarente et Gioja del Colle, 2 000 l. La dernière section de l'aqueduc principal pourra débiter 950 l jusqu'au branchement vers Fasacco.

La quantité d'eau fournie par habitant et par jour est réglementée par le chiffre de la population des centres à desservir et les conditions de l'amenée des eaux. Les agglomérations sont divisées en six classes. La première comprend les six villes principales : Foggia, Bari, Lecce, Barletta et Tarente, qui ont droit à 90 l par habitant et par jour. Les classes suivantes comprennent les centres moins importants jusqu'à la quatrième, qui permet 50 l par habitant pour ceux de moins de 10 000 âmes. Les deux dernières classes se rapportent aux agglomérations alimentées par refoulement. Pour celles-ci, le chiffre admis est de 50 ou de 40 l, suivant que la population dépasse ou non 10 000 habitants.

L'aqueduc des Pouilles alimentera 259 communes, dont la population atteignait 1 836 000 âmes en 1901, mais que l'on estime devoir s'élever, en 1921, à 2 275 000 habitants. A cette époque, la quantité d'eau à fournir sera de 1 790 l par seconde au total.

Le débit que l'on prévoit est donc plus que double de ce qu'il faut pour les besoins de la population. L'excédent, soit 2 200 l par seconde, représente la quantité disponible pour l'industrie et l'agriculture. On pourra utiliser 8 000 ch, dont un huitième employé dans les stations élévatoires. Le surplus, soit 7 000 ch, pourra servir à la production du courant électrique, tandis que l'eau pourra être utilisée à l'irrigation de 2 500 ha de terre.

L'aqueduc principal, d'une longueur de 236,5 km, comprendra 167 km de tranchées, 53,7 de tunnels, dont 12,7 pour la traversée des Apennins,

12,2 km de ponts et 3,6 km de siphons. Ceux-ci sont au nombre de quatre, dont le plus grand a 1 850 m de longueur et 13,3 atm de pression.

L'aqueduc principal comprend six chutes d'une hauteur totale de 56 m. La plus grande a 36,65 m. La pente de l'aqueduc, abstraction faite des siphons, varie de 0,25 à 0,40 m par kilomètre. La vitesse de l'eau sera généralement de 1 m par seconde.

La longueur totale des aqueducs secondaires et principaux est de 1904,8 km. Les réservoirs, au nombre de 146, auront une capacité totale de 280 933 m³. Dans la province de Bari, qui est peu éloignée de l'aqueduc principal, la capacité des réservoirs est telle que l'alimentation soit assurée pendant trente heures ou cinquante-quatre heures, suivant qu'il s'agit de conduites alimentées par gravité ou par refoulement. Dans les provinces de Foggia et de Lecce, ces chiffres sont portés de 48 à 72 respectivement.

Le prix de vente de l'eau pour les services publics sera de 0,15 f par mètre cube au début et de 0,12 après trois ans. Pour les particuliers, le prix d'abonnement, ainsi que le minimum de consommation, varient dans les six classes susdites.

Le prix par mètre cube sera compris entre 0,19 et 0,35 f. Des conditions spéciales sont prévues pour les bâtiments d'administration (25 0/0 de réduction sur le prix des particuliers), pour l'industrie, les chemins de fer, les tramways et les ports (0,22 à 0,08 f le mètre cube), et pour l'agriculture (0,20 à 0,12 f le mètre cube).

A la suite du concours international du 3 mai 1905, comme nous l'avons indiqué précédemment, la Société italienne Ercole Antico et Cie a été déclarée adjudicataire des travaux. Cette Société a eté constituée au capital de 15 millions de lire, dont les deux tiers sont versés. Un délai de deux ans lui a été accordé pour présenter à l'approbation du Ministre des Travaux publics le projet complet des travaux, mais elle devait, tout d'abord, dresser le projet de captage des sources. Celui-ci a été déposé en juin 1907.

En vue de ce projet, on a effectué des sondages, qui ont confirmé les prévisions sur lesquelles on avait basé l'adjudication. On a reconnu l'existence d'un réservoir souterrain d'où sortent les sources visibles, borné par une enceinte de terrains imperméables. Ce réservoir est en grande partie alimenté par le fond, qui est couvert d'une forte couche de sable et de pierraille calcaire.

Le projet de captage est conçu de manière à ne toucher en rien à l'état actuel des sources et à amener l'eau immédiatement du réservoir souterrain dans l'aqueduc.

Les brèches par lesquelles les eaux viennent actuellement au jour seront fermées par des murs atteignant jusqu'à 16 m de hauteur, prenant appui et se joignant au sol imperméable. Leur crête atteindra la cote 422,45, le niveau de la retenue étant à la cote 420.

Un aqueduc collecteur est prévu dans l'axe du réservoir ; son radier perméable est établi à la cote 419 ; sa largeur varie de 3 à 5 m. Les parois latérales sont formées de paliers en maçonnerie, réunis par des voûtes de façon à permettre facilement la venue de l'eau ; les piliers sont fondés sur des blocs en béton qui devront vraisemblablement être

établis dans des enceintes de palplanches. L'ouvrage est couvert par un plancher plat en béton armé. Dans la galerie principale débouchent huit galeries transversales qui s'étendent jusqu'aux endroits où le réservoir est alimenté par des sources sortant des fissures du rocher.

Après l'exécution des galeries de captage, le réservoir sera en partie débarrassé des couches de sable et de gravier compact et rempli de gros moellons jusqu'au niveau de la galerie principale, de manière à faciliter l'écoulement des eaux. Cet enrochement sera couvert d'une couche de 0,30 m d'épaisseur de béton, d'une chappe d'asphalte et d'une couche de 0,80 m d'argile, de façon à empêcher la pénétration des eaux de pluie.

La galerie de captage débouche dans un canal d'arrivée qui peut débiter 6 m³ à la seconde et conduit aux installations de jauge d'où partent l'aqueduc principal, une conduite d'alimentation de la ville de Caposele et une conduite de décharge. Ces derniers renseignements ont été empruntés par les *Annales des Travaux publics de Belgique* au *Journal des Ingénieurs et Architectes d'Autriche.*

Importation du charbon à Port-Saïd en 1907. — Un rapport consulaire indique que l'importation du charbon à Port-Saïd, en 1907, s'est élevée au chiffre imposant de 1 540 336 t contre 1 355 718 t en 1906. Ce total, qui provient presque entièrement de la Grande-Bretagne, comprend une faible quantité de coke et de briquettes. Voici, du reste, le détail, tel que nous le trouvons dans l'*Iron and Coal Trades Review* :

Charbons de Galles gros	1 338 278 t
— menu	56 112
Anthracite du pays de Galles	1 643
Charbons du Nord gros	111 790
— menu	7 293
Charbon d'Écosse	6 029
Charbon du Lancashire	4 223
Charbons allemands	3 464
Coke	10 691
Briquettes	810
Total	1 510 336
Moyenne annuelle de 1902 à 1906	1 238 798
Total de 1906	1 355 718

On voit que l'importation du charbon en provenance d'Allemagne est très faible, 3 464 t seulement ; le fait est d'autant plus remarquable qu'elle s'était élevée en 1906 à 45 000 t.

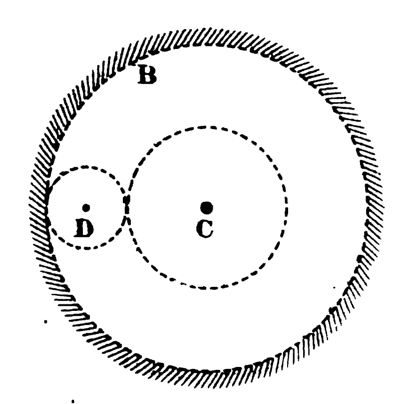
En 1907, 4 267 navires ont pris dans le port de Port-Saïd 1 190 486 t de charbon ; en 1906, le chiffre des navires embarquant du charbon n'avait été que de 3 975 et le total embarqué de 1 147 468 t. De plus, 300 050 t ont été expédiées l'année dernière dans l'intérieur du pays par eau ou par rail ; ce chiffre présente un excédent de 140 000 t sur celui de 1906. Ces transports s'opèrent généralement par barques à voiles vers Damiette, ou par le canal même vers Ismaïliah.

Pendant l'année 1907, les charbonniers arabes se sont mis deux fois en grève pour obtenir une augmentation de salaire. Quelques concessions leur ont été faites à la suite de la première grève, au mois d'avril, mais on n'en est pas arrivé à un arrangement définitif. La seconde grève a duré du 19 décembre 1907 au 5 janvier 1908. On prit alors des dispositions pour le paiement direct des ouvriers, parce qu'il y avait des raisons de supposer qu'ils étaient en partie frustrés par leurs cheiks qui recevaient l'argent, mais on n'a pas encore trouvé de solution satisfaisante de la question qui, d'après le rapport du vice-consul, est compliquée et d'une importance considérable pour la prospérité, non seulement de la ville de Port-Saïd, mais aussi du canal lui-même. En effet, si on estime à 1 million de tonnes l'importation annuelle du charbon, et à 1,50 f par tonne le coût du travail arabe, le total s'élève à 1 500 000 f par an, soit 4 110 f par jour, somme élevée qu'il importe de distribuer d'une manière équitable entre les intéressés. Il est heureux de pouvoir constater que les maisons qui font le commerce du charbon se préoccupent de réaliser ce desideratum.

Le prix du charbon, en 1907, a été de 30 f la tonne pour la navigation et de 32,50 pour le détail dans la ville. En janvier 1908 le prix s'est élevé pour la navigation à 33,75 f, augmentation qui a eu pour effet d'amener les navires à prendre leur charbon à Malte, où on dit que les prix ne sont que de 26,85 f la tonne. Les frets pour le charbon venant de la Grande-Bretagne ont été en moyenne de 8,10 f par tonne, alors qu'ils s'élèvent à 31,25 f pour les marchandises générales.

Détermination de la vitesse d'un mobile en mouvement. — Nous croyons utile d'appeler l'attention sur un appareil optique imaginé par notre collègue M. Joanneton pour permettre de déterminer d'une manière pratique et rapide la vitesse d'un mobile en mouvement et en particulier celle d'un aérostat.

Cet appareil se compose d'un quart de cercle en cuivre portant d'un



côté une lunette ou viseur et un petit miroir incliné à 45 degrés sur l'horizon. Ce miroir peut tourner autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan du secteur. Le centre de cette petite glace est sur l'axe

même de la lunette. De l'autre côté du secteur se trouve une réglette ou alidade mobile dont le centre de rotation est sur l'axe prolongé du miroir. Cette réglette n'est pas solidaire de cet axe lui-même, car elle reçoit son mouvement propre d'un système d'engrenages tel que, quand le miroir est déplacé d'un angle A, la réglette se déplace elle-même d'un angle 2 A.

A cet effet, le tambour qui sert de support au miroir comporte une couronne dentée à l'intérieur B, dont la circonférence primitive a pour diamètre 60 mm, un pignon central C de 30 de diamètre, et un engrenage intermédiaire D, fou sur son axe et de diamètre égal à 15 mm ; un huitième de tour de l'engrenage B correspond donc à une rotation d'un quart de tour du pignon C.

L'auteur fait observer que, s'il a jugé utile d'adopter ces dispositions, c'est parce qu'il est plus facile de faire une lecture courante avec une lunette maintenue constamment horizontale que de commencer par observer un point donné avec une lunette placée à l'origine verticalement, obligeant l'opérateur à faire une première visée en plongeant, le viseur étant d'abord vertical et subissant ensuite des inclinaisons graduellement ascendantes. Les 45 degrés de rotation du miroir équivalent, pour examiner l'horizon qu'on a devant soi, à un déplacement angulaire réel de 90 degrés de la lunette employée isolément.

Du côté où se trouve la réglette sont gravées des lignes horizontales, marquées de 100 en 100 m de 0 à 2000 m, indiquant les hauteurs au-dessus du sol et des lignes verticales dont la graduation a été tracée de 10 en 10 km de 0 à 100 km.

Ceci posé, voici comment on fait une observation. L'appareil est soutenu verticalement à l'aide d'une cordelette rattachée au cercle de suspension du ballon, s'il s'agit d'applications aéronautiques, dans une position telle que le viseur arrive à la hauteur de l'œil du pilote. Celui-ci, faisant face au vent, c'est-à-dire tournant le dos au sens de la marche du ballon, observe pendant une minute et suit, en tournant le miroir, un objet quelconque, arbre, clocher, maison, croisement de routes, murs, etc., dès que cet objet a passé au-dessous de la nacelle du ballon. Il note de suite la hauteur indiquée par le baromètre, 1200 m, par exemple. En retournant l'appareil, il n'y a qu'à regarder le point où l'ordonnée 1200 rencontre l'arête supérieure de la réglette (restée en place), et à voir qu'elle est la ligne verticale, l'abscisse, qui passe à leur intersection; c'est elle qui indique la vitesse cherchée en kilomètres à l'heure et cela sans qu'il y ait à faire aucun calcul.

Si ce point de rencontre coïncide avec une abscisse déjà tracée, il n'y a aucune difficulté ; sinon, avec un peu de soin et d'attention, on apprécie facilement la vitesse. Dans le cas où l'alidade tombe dans le milieu de l'intervalle qui sépare les verticales 40 et 50, c'est du 45 km à l'heure, ou du 42, du 44, etc.; la graduation pour les vitesses allant de 2 en 2 km, afin d'être plus facilement lisible. Il y a là une question d'appréciation plus facile à solutionner que si, comme élément d'estimation, on se base comme d'habitude, sur le déplacement de l'extrémité inférieure du guide-rope et la confiance toute personnelle que chacun est légitimement en droit d'avoir dans son œil.

Les lignes verticales limitent simplement des longueurs bien définies de 500 — 1 000 — 1 500 m, qui correspondent, en tenant compte du temps écoulé, à des vitesse de 30 — 60 — 90 km à l'heure, et toutes les autres vitesses intermédiaires graduées.

On peut se servir de cet instrument aussi bien de nuit que de jour. On prendra comme point de repère une lumière située à la surface du sol ; il n'y a qu'en cas de brouillard qu'on ne peut faire d'observation.

M. Joanneton cite comme exemple de l'utilité qu'il y a de connaître la vitesse d'un aérostat le fait suivant : le lendemain du concours d'automne organisé par les soins de l'Aéro-Club de France, le 4 octobre dernier, au lever du jour, la brume épaisse permettant mal de distinguer le paysage, un ballon planait à 1 500 m au-dessus du confluent de l'Allier et de la Loire. A première vue, les aéronautes croyaient se trouver dans le voisinage des Bouches-du-Rhône. Ces erreurs et ces surprises n'ont rien de maladroit ni d'extraordinaire, étant donné que, bien des fois, les circonstances climatériques les plus naturelles s'opposent à toute vision nette à distance. Or, si en cours de route, les aéronautes avaient relevé leur vitesse une vingtaine de fois durant leur quatorze ou quinze heures de voyage par temps clair, ils auraient vu de suite qu'ils n'avaient pas fait 300 km ; ils auraient. dès lors, été bien certains de ne pas être au bord de la Méditerranée qui, elle, est à plus de 600 km des Tuileries.

L'appareil dont nous avons parlé a été étalonné pour faire des observations directes de la durée d'une minute. On peut tout aussi bien faire des observations réduites à 30 — 20 — 15 — 12 et 10 secondes ; en multipliant par 2 — 3 — 4 — 5 et 6 les vitesses ainsi obtenues, on aura la vitesse réelle cherchée. Une observation d'une durée de 10 secondes s'imposera en dirigeable, car, en se rapprochant de terre, la réglette rencontre sous des angles de plus en plus aigus les ordonnées en horizontales et les lectures deviennent difficiles.

Cette détermination de la vitesse peut s'appliquer également à un train qui passe ; il suffit de connaître la distance à laquelle l'observateur se trouve normalement à la voie ferrée et de placer le secteur horizontalement.

En ajoutant un mouvement d'horlogerie avec déclic permettant de faire des observations de la durée d'une seconde ou même d'une fraction de seconde, on obtiendrait un instrument pouvant contrôler, avec une précision suffisante, la vitesse d'une automobile passant sur une zone déterminée de route. La graduation ne serait plus établie en kilomètres à l'heure, mais en mètres par secondes.

Cet appareil a été construit sur les plans de M. Joanneton par M. L. Maxaut, à Paris. Son inventeur lui a donné le nom d'Opus Opticum, puis, par abréviation Opticum, ce qui permet de le désigner par une nouvelle abréviation sous la forme ocvm.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUILLET 1908.

Rapport sur l'**état financier de la Société.**

L'optique et l'acoustique au théâtre, par M. Alfred LACOUR.

L'objet de cette conférence est d'indiquer les lois physiques de l'optique et de l'acoustique, ainsi que les lois physiologiques et leur application aux salles de théâtre, dans lesquelles le spectateur a besoin de voir et surtout d'entendre.

L'auteur étudie d'abord les théâtres antiques et leurs dispositions et passe ensuite aux théâtres modernes, qui résultent d'une conception bien différente de ceux de l'antiquité et qui se rattachent tous à trois formes élémentaires : la salle en U, la salle circulaire et la salle en éventail du théâtre de Bayreuth, forme connue, d'ailleurs, avant Wagner.

L'auteur cite en passant la forme en œuf proposée jadis par Adolphe Sax et que l'emploi du ciment armé permettrait aujourd'hui de réaliser facilement.

Au point de vue de l'optique, la question de l'éclairage joue un grand rôle, on comprend que la note s'étende particulièrement sur ce point.

Compte rendu des **progrès réalisés dans l'étude et l'industrie des huiles essentielles,** par MM. A. HALLER et H. GAULT.

Les auteurs continuent ici leur exposé des recherches effectuées par de nombreux expérimentateurs sur les principes constituants des essences végétales par une étude des principales huiles essentielles et des travaux les plus importants concernant leur constitution chimique et leurs propriétés caractéristiques. Cette description systématique est faite en adoptant l'ordre alphabétique, le seul d'ailleurs qu'il soit possible d'employer.

L'impérialisme économique en Grande-Bretagne, par M. Maurice ALFASSA.

Notes de chimie, par M. Jules GARÇON.

Voici les principaux sujets traités sous cette rubrique : Le mécanisme de la filtration. — La cyanamide. — Sur la corrosion des fers et aciers. — Le bronze d'aluminium. — Mortiers avec pouzzolanes. — Le bleu de Sèvres. — Gaz Blau — Le benzol et l'alcool en automobilisme. — Ethers cellulosiques. — Insolubilité de la gélatine, etc.

Notes de mécanique.

Soudure des aciers au cuivre. — Pompe pour puits de pétrole Leinweber. — Broyeur Hunt. — Compteur de pétrole Chauvin et Arnoux. — Machines Ransome à faire les tonneaux en ciment. — Compteur d'explosions et de compressions Graham. — Emploi du pétrole pour les chaudières marines. — Tour à roues de locomotives Sellers.

Aout-Septembre-Octobre 1908.

Mise au point de notre outillage maritime. — Ports et canaux, par M. G. Hersent.

On sait que cette question a été traitée par l'auteur dans un mémoire intitulé : « Les grands ports français, leur transformation et leur autonomie », paru dans le Bulletin de notre Société de mars 1908. Nous devons nous borner à y renvoyer le lecteur.

Voitures automobiles à six roues, par le commandant Janvier.

L'emploi de six roues sur une voiture automobile a l'avantage, d'un ordre général, de réduire la charge par roue, au grand avantage des routes et des bandages; de plus, le mode de suspension de la voiture à six roues atténue les trépidations.

Cette suspension implique l'emploi d'un balancier réunissant le ressort de chaque roue à celui de sa voisine. La note décrit cette disposition et énumère les avantages qu'elle présente pour le franchissement des obstacles.

La direction s'opère par les roues extrêmes, dont les essieux reliés ensemble se déplacent angulairement en sens inverse, ce qui supprime le dérapage.

Les voitures munies des dispositions ci-dessus trouvent leur application :

1° Aux transports ordinaires ou en commun, en raison : de l'économie énorme de bandage réalisée, de sa douceur, d'où confort et réduction des réparations, puis de la durée des indisponibilités, de sa grande capacité, d'où bon rendement économique ; de sa maniabilité ;

2° Au transport des poids lourds, en raison : de l'économie des bandages, de la réduction des réparations et du temps qu'elles font perdre ; de sa longueur de tablier et de sa douceur, s'ils s'agit d'objets encombrants ou fragiles ; de sa capacité pour les fortes charges, due au nombre de ses roues et à la réduction du poids mort ; de sa maniabilité, lui permettant l'accès des voies étroites ou encombrées.

La fabrication de la nitroglycérine.

C'est le résumé d'une communication du lieutenant-colonel Sir F. L. Nathan et W. Rintoul à la Society of Chemical Industry, à Londres. Elle se rapporte à des perfectionnements introduits depuis quelques années dans la fabrication de la nitroglycérine par MM. Nathan,

Thomson et Rintoul. Ces perfectionnements sont employés à la fabrique de Woltham Abbey exclusivement, depuis 1904, et dans diverses autres fabriques anglaises et étrangères depuis. Les avantages sont une augmentation du rendement, une diminution du nombre des ouvriers nécessaires et un accroissement de la sécurité. Un point à signaler est que les méthodes employées réduisent dans une grande proportion le nombre des outils et ustensiles nécessités par la fabrication ; or, comme plusieurs accidents récents ont été attribués à des buttages, à des chutes ou à des chocs contre de lourds ustensiles, tout ustensile ou outil susceptible d'amener un accident par suite d'un choc devrait être absolument proscrit des ateliers.

L'impérialisme économique en Grande-Bretagne, par M. Maurice Alfassa *(suite)*.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous trouvons parmi les questions traitées ici : Les nouveaux gaz de l'atmosphère. — Soude et silicate. — Sur le sulfure de zinc. — Sources naturelles du vanadium. — Nouveaux systèmes de distillation de la houille. — Le gaz à l'eau. — Le bornéol et l'acide campholique. — Coagulation du sang. — Le sténosage des soies artificielles. — Noir d'aniline perfectionné. — La végétation et les fumées industrielles. — Vins provenant de vignobles arseniqués. — La fermentation du vin. — Analyse des vins. — Antiparasites.

Notes de mécanique.

La liquéfaction de l'hélium, d'après M. F. Hyndman. — Régulateur Glocker-White, pour turbines hydrauliques. — Appareil pour mesurer la flexion des éprouvettes chargées. — Machine à vapeur surchauffée Schmidt. — Quelques extincteurs d'incendie. — Utilisation de la tourbe.

ANNALES DES MINES

4e livraison de 1908.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux de la production des combustibles minéraux des fontes et aciers en 1907.

La production totale des combustibles minéraux a été, en 1907, de 36 930 000 t, dont 36 160 000 t pour la houille et l'anthracite et 760 000 t pour le lignite. Cette production est supérieure de 2 734 000 t à celle de 1906.

Pour la houille, c'est le département du Pas-de-Calais qui tient la tête avec 17 369 000 t, suivi par le Nord avec 6 363 000 t, la Loire avec

3710000 t et le Gard avec 2022000 t. Saône-et-Loire vient en cinquième lieu avec 1933000 t.

Pour le lignite, le bassin du Fuveau occupe le premier rang avec 627000 t, ne laissant que 133000 t à fournir par les autres bassins, parmi lesquels le bassin de Manosque intervient pour 53000 t et celui de Norroy, dans les Vosges, pour 26000. Les autres productions sont à peu près insignifiantes.

La production totale de fonte a été, en 1907, de 3606288 t, en augmentation de 292126 t sur celle de 1906. C'est le département de Meurthe-et-Moselle qui a la plus forte production, 2494350 t; après vient le Nord avec 327850 t, le Pas-de-Calais avec 138000 t et Saône-et-Loire avec 130500 t.

La production des lingots d'acier s'est élevée à 2653523 t, en augmentation de 217200 t sur l'année 1906. Sur ce total, on trouve 77953 t de fonte Bessemer acide, 1611593 t de fonte Bessemer basique et 963977 t de fonte Martin. C'est le département de Meurthe-et-Moselle qui vient en tête avec 1358684 t, soit la moitié de la production totale. Le Nord figure pour 410928 t, Saône-et-Loire pour 176368 t et la Loire 137400 t.

Marcel Bertrand (1847-1907), par M. P. Termier, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines.

Sur **le creusement des puits du siège Edouard Agache,** par cimentation des assises aquifères, par M. Saclier.

Si l'idée d'aveugler par le ciment des venues d'eau souterraines est très ancienne, ce n'est que récemment qu'on a cherché à cimenter les terrains aquifères pour faciliter le fonçage des puits.

Le principe de la méthode consiste à exécuter autour de la périphérie du puits à creuser une série de sondages et à y injecter sous pression un coulis de ciment, qui pénètre partout et finit par former du terrain un véritable monolithe.

Au puits Edouard Agache, aux mines d'Anzin, le terrain fissuré se présentait sur une épaisseur de 53 m. On a foré huit sondages autour du puits n° 1 et six autour du puits n° 2. Ces sondages avaient 0,90 m de diamètre; on y a introduit des tubes en tôle de 0,50 m de diamètre et 6 m de hauteur, on a coulé du mortier de ciment entre les tubes et le terrain et on a opéré dans les tubes le sondage au trépan à chute libre. Après avoir bien nettoyé l'intérieur des trous par lavage opéré à l'aide de pompes, on a injecté le ciment à l'intérieur avec une pompe d'une manière continue; le coulis comportait 1 partie de ciment pour 20 parties d'eau et on injectait 3 à 4 t de ciment à l'heure.

Le fonçage a pu être opéré ensuite avec des épuisements insignifiants de quelques mètres cubes à l'heure, alors qu'en opérant sans cimentage, il eût fallu enlever au moins 300 m^3 à l'heure.

Le prix du mètre courant de puits dans la partie cuvelée s'est élevé à 1845 f, somme sensiblement inférieure au prix qu'on aurait eu par les autres procédés de fonçage, lorsqu'on a un niveau d'eau sérieux à franchir.

5e livraison de 1908.

Note sur **une explosion de poussières**, survenue à la mine de Gardanne, le 9 janvier 1907, par M. Rigaudias, Ingénieur des Mines.

Cette explosion causa la mort de quatre ouvriers et huit autres ont subi des blessures graves; les dégâts matériels ont été presque insignifiants. On extrait à Gardanne du lignite: on avait d'abord cru à une explosion de grisou, mais on a dû abandonner cette hypothèse pour admettre l'intervention des poussières enflammées par l'un des derniers coups d'une salve de six coups chargés à la dynamite, les poussières provenant d'un des premiers coups de mine.

Comme mesure de précaution pour prévenir le retour d'accidents de ce genre, l'emploi exclusif d'explosifs de sûreté sous charge maximum de 0,300 kg a été rendu obligatoire pour le travail en couche dans toutes les mines du bassin du Fuveau.

Note sur **la loi prussienne** du 14 mai 1908, relative à la protection des sources minérales, par M. L. Aguillon, Inspecteur général des Mines.

Il n'existait en Prusse aucune législation générale sur les eaux minérales, lorsque la loi du 14 mai 1908 est venue combler cette lacune. Cette loi est visiblement inspirée de la loi française de 1856, pour les principes essentiels et les dispositions caractéristiques, mais elle présente des modifications assez importants, notamment en ce qui concerne la déclaration d'utilité publique, la fixation du périmètre de protection, les indemnités et l'action de l'Administration sur le propriétaire de la source.

Le pétrole de Roumanie, par M. A. Aron, Ingénieur des Mines.

C'est une note additionnelle au précédent article paru dans la 1re livraison des *Annales des Mines* de 1908. Cette note s'occupe de la loi du 25 avril 1908, promulguée en Roumanie, et réglant les conditions de vente du pétrole à l'intérieur du pays. Cette loi, qui doit entrer en vigueur le 14 octobre 1908, fixe le prix maximum de vente du pétrole et le contingent de chacune des raffineries dans les livraisons intérieures; c'est, d'après l'auteur, un exemple extraordinaire d'intervention des pouvoirs publics dans le domaine de la libre concurrence commerciale.

Rapport de la Commission du grisou sur **les nouveaux verres de lampes de mines**, des cristalleries de Baccarat, par M. G. Chesneau, Ingénieur en chef des Mines, Secrétaire de la Commission.

Sur **la lampe de sûreté Muller,** rapport présenté à la Commission permanente des recherches scientifiques sur le grisou et les explosifs employés dans les mines, par M. G. Chesneau, Ingénieur en chef des Mines, Secrétaire de la Commission.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Aout 1908.

CONGRÈS DU CINQUANTENAIRE.

Jeudi 18 juin. — Visite des Forges et Aciéries de la Marine à Saint-Chamond. — Visite des mines de la Péronnière. — Visite des ateliers de l'Horme. — Visite de l'usine des Étaings.

Production de combustibles minéraux pendant les premiers semestres de 1907-1908 dans le Pas-de-Calais et le Nord, la Loire, le Gard et l'Hérault, les Bouches-du-Rhône, Saône-et-Loire, le Centre, le Sud-Ouest et l'Est.

Septembre-Octobre 1908.

Compte rendu de la **réunion et des visites industrielles** de la délégation du district parisien de la Société de l'industrie minérale et de la section liégeoise de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège, les 9, 10 et 11 mai 1908.

La première journée a été employée à une visite de l'usine de la Société Cockerill à Seraing.

La deuxième a eu lieu une séance technique à l'Institut Montefiore, séance occupée par des communications de M. Delafond sur l'accident des mines de Courrières en 1906, de M. Rateau sur les turbo-compresseurs à haute pression et à l'utilisation des vapeurs d'échappement et de M. Bel sur les richesses minérales du Congo français.

La troisième journée a été consacrée à une visite aux usines Derihon à Loncin-les-Liège, usines pour la fabrication des pièces de forges, notamment les pièces d'automobiles et à une visite des charbonnages de l'Espérance et de Bonne-Fortune.

District de Paris.

Réunion du 23 juin 1908.

Observations de M. Bel sur le **mode de formation de l'or dans ses divers gisements.**

A l'occasion de la communication faite sur cette question par M. Fieux dans la précédente séance, M. Bel est d'avis que si la désagrégation de filons a donné naissance, dans certains cas, à des alluvions, ces alluvions filoniennes sont beaucoup moins importantes que les alluvions provenant de la désagrégation des roches aurifères. On peut admettre, en ce qui concerne l'enrichissement des formations sédimentaires ou détri-

tiques de l'or, que son origine se trouve dans toutes les roches de la contrée, qu'elles soient basiques, acides, éruptives ou non.

Il est aussi donné lecture d'une lettre adressée par M. J. Schoff, sur le même sujet et sur celui de l'économie de l'emploi des perforatrices ou marteaux pneumatiques de petite dimension.

Communication de M. Paul Renaud, sur **une application récente aux mines de Marles du procédé de découpage des métaux par l'oxygène.**

Il s'agissait de dégager le fond d'un puits d'extraction dans lequel était venu s'abattre, d'une hauteur de 150 m environ, une cage portant six berlines pleines de charbon. Il était nécessaire, pour y arriver, de couper huit fers en ⊔ de 120 × 80 × 10. Ce découpage a demandé un quart d'heure et on a pu enlever la cage. Le travail total a exigé à peine douze heures, alors qu'avec les procédés ordinaires il eût fallu plusieurs journées, à moins d'employer la dynamite avec tous ses inconvénients.

Communication de M. Lavardon sur **l'installation du classeur centrifuge aux mines de La Lealtad (Espagne).**

Le principe de ce classeur dû, à l'origine, à l'Ingénieur Barazer, consiste à faire tomber le minerai sur un plateau tournant à grande vitesse; la projection par la force centrifuge détermine un classement. L'installation dont il s'agit est susceptible de traiter 30 t en dix heures de travail. L'auteur n'apporte que des résultats d'essai, l'usine n'étant pas encore en service régulier.

M. Lenicque émet des réserves sur l'efficacité de cette méthode en l'absence de faits d'expérience bien constatés.

Communication de M. Saux, sur **l'emploi des marteaux perforateurs en France et en Belgique.**

L'auteur, décrit les quatre systèmes de marteaux en usage actuellement, savoir :

1° Les marteaux simplement perforateurs percutants à main;

2° Les marteaux perforateurs percutants avec avancement pneumatique de l'appareil;

3° Les marteaux perforateurs percutants avec mouvement de rotation automatique du fleuret;

4° Les marteaux perforateurs percutants avec mouvement de rotation automatique du fleuret et avancement automatique de l'appareil.

La note examine chacune de ces catégories d'outils ou en discute les avantages particuliers.

Production des combustibles minéraux du Dauphiné et de la Savoie pendant les premiers semestres de 1908 et 1907.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 35. — *29 août 1908.*

Chemin de fer électrique à courant alternatif en Amérique, par K. Meyer.

Etude sur les locomotives à vapeur surchauffée, construites par la Société Berlinoise, précédemment L. Schwartzkopff, par E. Bruckmann *(fin)*.

Calcul des clapets de pompes, par G. Lindner.

Nouveaux procédés graphiques pour le calcul des poutres des treuils roulants, par F. Birtz.

Les chaines à maillons, par A. Baumann.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Les nouveaux systèmes d'allumage dans les moteurs à combustion intérieure et particulièrement le système magnéto-électrique de Pittler. — Construction et exploitation du réseau électrique de Strasbourg.

Revue. — Trottoir roulant de la gare d'Orsay, à Paris. — Distribution d'eau de Gravelotte. — Paquebot à turbines *Ben My Chree.* — Le croiseur anglais *Indomitable.*

N° 36. — *5 Septembre 1908.*

Dessiccation des boues provenant des canalisations d'eau des villes, par G. Ter Meer.

Récent développement de la turbine Zoelly, par J. Weishaupt.

Le onzième Congrès international de la navigation à Saint-Pétersbourg en 1908, par G. Probit.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Calcul des prix de revient dans l'industrie.

Groupe de Hambourg. — Transmission par courroies et câbles.

Bibliographie. — La rédaction des spécifications de brevets et son influence sur la valeur de la protection, par H. Tendt.

Revue. — Tour pour tourner les roues de turbines à vapeur par la fabrique de machines-outils Ernst Schiess. — Wagon de service pour la construction du chemin de fer de la ville et de la banlieue de Hambourg. — Le pont de Blackwell-Island, à New-York.

N° 37. — *12 septembre 1908.*

Construction des grues pour divers usages, par C. Michenfelder.

Expériences sur une locomobile à vapeur surchauffée et distribution par soupapes, système Lentz, par E. Josse.

Sur la manière dont les sciences techniques sont traitées dans les encyclopédies mathématiques par A. Sommerfeld.

La catastrophe du tunnel du Lotschberg, par A. Trautweiler.

Groupe de Thuringe. — Machines à voler et ballons dirigeables. — Matériaux incombustibles et moyens de les éprouver.

Bibliographie. — Développement de l'hydrométrie en Suisse, par J. Epper.

Revue. — Le nouveau dirigeable Parseval. — Installation électrique de déchargement au port de Schweigern sur le Rhin. — Tramways d'Aldgate-Row à Londres. — Machine d'extraction électrique des mines de la Société de Friedrichshall.

N° 38. — *19 Septembre 1908.*

Le chemin de fer de montagne d'Heidelberg, par A. Schmidt.

Construction des grues pour divers usages, par C. Michenfelder.

Expériences sur la résistance de l'air sur les faces latérales des corps en mouvement, par A. Frank.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Observations succinctes sur le principe de l'énergie d'Ostwald.

Bibliographie. — Travaux scientifiques présentés à l'occasion du jubilé de l'Industrie allemande.

Revue. — Expériences sur un réchauffeur d'eau d'alimentation, système Krüger. — Grue mobile de la Browning Engineering C°. — Exposition internationale aéronautique à Munich en 1909.

N° 39. — *26 Septembre 1908.*

Notice nécrologique sur Theodor Peters.

Encouragements donnés par les Ingénieurs allemands au projet du comte Zeppelin, concernant la construction d'un ballon dirigeable pendant les dix dernières années du siècle précédent, par C. Bach.

Construction des grues pour divers usages, par C. Michenfelder (*suite*).

Relations entre la dureté, la résistance et l'énergie intérieure des métaux tenaces, par A. Kürth.

Nouvelle méthode pour calculer la résistance des fers profilés, par A. Cyran.

Groupe du Palatinat Saarbruck. — Calorimètre enregistreur pour les gaz.

Bibliographie. — La turbine Francis, par R. Hourld et K. Albrecht. — Analyse de chimie industrielle de Post, par B. Neumann. — Manuel pour les constructions métalliques, par C. Scharowski. — La construction en béton armé, par C. Kersten.

Revue. — Appareil à décharger les wagons de houille, de Halett. — Nouveau bronze pour les machines, l'artillerie et la marine des Skodawerke à Pilsen. — Locomotive de mines à benzine. — Moteur à courant continu de 10 000 ch. — Traction électrique au tunnel du Simplon.

N° 40. — *30 Octobre 1908.*

Chemin de fer de la ville et de la banlieue de Blankenese-Ohlsdorf, par H. von Glinski.

Expériences sur une locomobile à vapeur surchauffée de R. Wolf, par Gutermuth et Watzinger.

Construction des grues pour divers usages, par C. Michenfelder *(fin)*.

Groupe de Chemnitz. — Nouvelles expériences avec l'acier à coupe rapide.

Électromoteurs et dynamos avec axes perpendiculaires.

Bibliographie. — Théorie des turbines hydrauliques, par R. Escher. — Manuel des sciences de l'Ingénieur. 3e partie : hydraulique agricole, par F. Kreuter.

Revue. — Amélioration des voies ferrées dans Cologne. — Expériences sur une turbine à vapeur de 3 000 ch, système Zoelly.

N° 41. — *10 Octobre 1908.*

Installation de grues sur le Helling, par W. Laas.

Locomotive articulée système Mallet, pour le chemin de fer du Hedjaz construite par Henschel et fils à Cassel, par H. Keller.

Evangelista Torricelli, 1608-1647, par Th. Back.

Chemin de fer de la ville et de la banlieue de Blankenese-Ohlsdorf, par H. von Glinski *(suite)*.

Groupe de la Thuringe moyenne. — Fonderie et fabrique de machines Briegleb, Hansen et Cie, à Gotha.

Bibliographie. — Les turbines hydrauliques, par G. Ziehn. — Éléments de la construction électro-mécanique, par R. Edler. — La vie dans les plantes et les animaux, par J. Fischer.

Revue. — Laminoirs à commande électrique de Georgmarienhutte. — 50e anniversaire de la fondation de l'usine métallurgique d'Ilsed.

N° 42. — Le vapeur à turbines *Tenyo Maru*, construit par les chantiers et ateliers de Mitsu Bishi, à Nagasaki, par W. Kaemmerer.

Installation de grues sur le Helling, par W. Laas *(suite)*.

Chemin de fer de la ville et de la banlieue de Blankenese-Ohlsdorf, par H. von Glinski *(fin)*.

Bibliographie. — Manuel de la métallurgie du fer, par H. Wedding. — Manutention des marchandises en masse, par G. von Hauffstengel. — Manuel de l'exploitation des mines et en particulier des houillères, par F. Heise et F. Herbet.

Revue. — Génératrice à courant alternatif de 6 500 kilowatts de la Niagara Falls Hydraulic Power and Manufacturing Company. — Traverses de chemin de fer en bois et fer. — Cheminée en béton armé faite sans emploi de moules. — Laminoir à tôle des forges et aciéries de Glasgow. — Le service des marchandises au port de Dortmund.

N° 43. — *24 Octobre 1908.*

Excavateur à chaine à godets, par H. Richter.

Effets de la détorsion dans des cylindres creux à parois minces, par R. Lorenz.

Nouveau procédé d'épuration des eaux, par K. Kurgass.

Le navire-dock *Vulcan* de la marine impériale allemande, construit par les chantiers Howaldt à Kiel, par von Klitzing.

Installation de grues sur le Helling, par W. Laas *(fin)*.

Appareil pour l'essai de la dureté des billes, par A. Martens et G. Heyn.

Bibliographie. — Les moteurs à gaz, par A. von Ihering. — Les machines à meuler, par Darbyshire-Kronfeld. — Manuel des sciences de l'Ingénieur. 5e partie : Construction des chemins de fer, 1re livraison, par S. Schneibner.

Revue. — XIe Congrès de l'association internationale pour la protection de la propriété industrielle. — Installation pour approvisionner les locomotives de combustible construite en béton armé. — Fabrication de l'acier au four électrique. — Machine à poser les voies de chemin de fer de Dahme. — Production du pétrole en Roumanie.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. MALLET.

BIBLIOGRAPHIE

I^e SECTION

Législation du bâtiment B. C. T. P. (1), par Louis Courcelle, avocat, et J. Lemaitre, licencié en droit.

L'ouvrage définit d'abord la propriété, son origine, son évolution et sa légitimité, puis les auteurs examinent le régime actuel de la propriété et les moyens de l'acquérir.

La deuxième partie énumère les servitudes foncières et administratives.

Une troisième partie présente le caractère et les formes des contrats auxquels donne lieu la construction, puis un chapitre important est réservé à la police de la construction.

Les auteurs ont minutieusement exposé la réglementation de la construction; ils ont également examiné les habitations à bon marché et la question des impôts.

Enfin, une importante documentation donne le texte même des lois et règlements auxquels on aura souvent à se reporter.

Ainsi rédigé, le livre de MM. Courcelle et Lemaitre est une étude sérieuse et complète de la législation du bâtiment, qui est devenue de nos jours extrêmement complexe. Cet ouvrage rendra un véritable service aux architectes, entrepreneurs, propriétaires, et à tous ceux qui ont à faire construire ou à s'occuper du bâtiment, car il classe méthodiquement et en les expliquant de la façon la plus claire, avec dessins à l'appui, les lois et règlements en vigueur.

T. S. S.

Méthode de calcul du béton armé avec barèmes pour en déterminer les dimensions, par A. Nivet, Ingénieur E. C. P., fabricant de chaux hydraulique (2).

Appelé par son industrie à faire des essais journaliers de résistance sur les agglomérants, chaux et ciments, M. Nivet a fait construire, en 1889, un appareil qui donne les résultats de flexion, traction, cisaillement et compression sur une éprouvette de dimensions 0,02 m $\times$ 0,02 $\times$ 0,11.

Ces résultats, fournis par la même éprouvette, avec le même instrument de mesure, sont comparables et ont conduit l'auteur à la loi suivante pour les agglomérants soumis à des efforts de flexion, au moment qui précède la rupture, dans une pièce prismatique : « Le plan des fibres neutres partage la hauteur du prisme suivant le rapport

(1) In-16, 185-120, de VIII-996 p. avec 184 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : relié, 15 f.

(2) In-8°, 255 $\times$ 165, de II - 168 p., avec 28 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix broché, 7 f.

inverse des racines carrées des coefficients de traction et de compression ».

Cette même loi parait se vérifier pour tous les corps homogènes et non clivables, le rapport seulement change, et ce rapport est une caractéristique de la matière.

C'est cette observation qui a donné lieu à l'étude que publie M. Nivet sur « une méthode de calcul du béton armé ».

La méthode développée par l'auteur est en accord avec les conclusions de la Commission du béton armé et répond aux exigences de l'article 10 des instructions ministérielles d'octobre 1906, puisqu'elle indique des calculs théoriques.

Ces calculs sont basés sur une position bien définie du plan des fibres neutres confirmée par de nombreux essais, et sur des sections réelles, non sur des hypothèses.

Le volume comporte 75 pages de tableaux numériques qui rendront les plus grands services aux nombreuses personnes qui ont à employer le béton armé.

T. S. S.

Protection des dunes et berges de rivières et canaux par le système Decauville (1).

Description. — La brique employée pour former le revêtement Decauville est d'une forme spéciale et en voici la composition : 300 kg de *ciment de Portland* pour 1 m³ de *sable graveleux*.

Il faut compter trente-deux briques par mètre carré.

Les briques sont enfilées dans des fils d'acier galvanisé ou de cuivre, suivant qu'il s'agit d'eau douce ou de mer; les joints sont croisés; l'étanchéité est obtenue au moyen de joints en *alfa tressé :* on obtient ainsi une sorte de cuirasse flexible.

Protection des dunes. — On commence par préparer le talus et le régler, puis on le recouvre de papier bitumé; on pose ensuite le revêtement au moyen d'un échafaudage mobile en se servant, pour tenir les fils, d'un clavier serre-fils.

Protection des berges. — Le panneau de revêtement est confectionné sur un plancher mobile soutenu par une grue placée sur la rive; il est ensuite immergé en relevant le plancher mobile au moyen d'une grue; on supprime ainsi l'usage des batardeaux.

Le principal avantage du système Decauville est l'absence de travaux à la base (pilotis ou maçonnerie).

Le panneau est suspendu par des fils que l'on vient amarrer autour d'une grande pierre formant corps mort, enfouie dans le sable à environ 3 m en arrière du couronnement.

Les briques sont fabriquées sur place au moyen de la presse spéciale Decauville. Pour la protection des berges, les briques sont faites à bord d'un bateau comprenant un atelier de briqueterie complet et où loge le personnel. J. H.

(1) Une brochure, 130 × 210, de 24 p. avec 8 gravures. Paris, imprimerie M. Andouard.

Ponts et ouvrages en maçonnerie. B. C. T. P., par Ernest ARAGON, Ingénieur des Arts et Manufactures. Ingénieur d'études de ponts, constructions métalliques et travaux publics (1).

Le volume a été divisé en trois grandes parties.

La première comprend, outre les principes de la stabilité et de la résistance des maçonneries, une série de problèmes relatifs au calcul des dimensions à donner aux ouvrages soumis à des forces extérieures quelconques, suivie de nombreuses applications.

En outre, la méthode graphique a été employée concurremment avec la méthode analytique, notamment dans les murs de soutènement, les murs de réservoirs et les voûtes en maçonnerie. On trouvera ainsi, pour cette dernière question, le tracé de la courbe des pressions déduite de la théorie des arcs métalliques.

La deuxième partie donne sommairement les conditions d'établissement des ponts en maçonnerie et les principaux détails de construction. C'est à dessein que l'auteur a condensé cette partie, car, dans les ouvrages en maçonnerie, en usage depuis de longues années, les solutions que l'on a prévues dans les ouvrages existants sont variées dans de grandes limites et il a voulu fixer, par des règles, relativement précises, le type à adopter pour les ouvrages à établir actuellement.

Comme complément, la troisième partie comporte la description sommaire des types d'ouvrages employés anciennement et une analyse détaillée des ouvrages récents, ainsi qu'une étude sur les barrages en maçonnerie, anciens et nouveaux, et la description des types de cintres employés, les appareils de décintrement et le calcul des pièces constituant les cintres.

T. S. S.

Pierres et matériaux artificiels de construction, par Albert GRANGER, Docteur ès Sciences (2).

Sous ce titre l'auteur s'est proposé de donner un aperçu aussi complet que possible des diverses fabrications qui s'occupent de la production des matériaux artificiels.

L'ouvrage envisage quatre classes principales de pierres artificielles :

1° Les pierres artificielles obtenues par cuisson;

2° Les pierres artificielles obtenues par hydratation suivie de carbonatation ou silicatisation;

3° Les pierres artificielles agglomérées par réaction chimique sans hydratation;

4° Les pierres artificielles agglomérées par des produits organiques ou constituées par des matières de nature organique.

Le premier groupe comprend divers types dont le plus important est la terre cuite; aussi ce genre de produit a-t-il été plus spécialement décrit, puisqu'il est le plus important.

(1) In-16, 185 × 120 de XI-560-16 pages, avec 362-15 figures. Paris, H. Dunod e E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1909. Prix : broché, 12 f.

(2) Un vol. in-18 de 320 p. avec 55 fig. Prix : 5 f.



A la suite de la terre cuite viennent le grès et le verre, qui ont reçu également des applications intéressantes.

Dans le second on trouvera une étude développée des briques silico-calcaires. Cette industrie a pris dans certains pays une importance considérable ; aussi sa description a-t-elle été particulièrement développée.

Les agglomérés à base de silicate de soude et de ciments magnésiens forment le sujet de la troisième partie.

Le dernier groupe est consacré aux divers produits que l'on peut fabriquer à l'aide de produits organiques seuls, ou combinés aux produits minéraux. L'auteur a choisi divers exemples de ces agglomérés qui donneront une idée du parti que l'on peut tirer de cette conception : briques de liège, agglomérés d'oxyde de plomb et de glycérine, agglomérés à l'asphalte.

L'ouvrage se termine par un chapitre traitant des divers essais que l'on doit faire subir aux matériaux artificiels pour en contrôler les qualités.

J. H.

Sur la nécessité de garantir les routes contre l'usure et les poussières : des moyens à employer pour y parvenir, par A. Francou père, architecte (1).

M. A. Francou père, architecte, est l'auteur du procédé de goudronnage par le feu à appliquer sur les routes. En pénétrant profondément la route, ce procédé forme, avec le gravier qui la compose, un aggloméré particulièrement résistant et en quelque sorte inusable.

Ce système serait donc capable de défendre nos routes, pour de longues périodes, contre la désorganisation dont elles sont menacées par la circulation des nouveaux véhicules à grande vitesse.

M. Francou donne la description complète de son procédé dans une brochure très claire dont la lecture est vivement à recommander. Il serait à souhaiter que, comme le demande l'auteur, on expérimentât convenablement son système pour se convaincre de son efficacité.

T. S. S.

Le percement du Splügen, par M. Canovetti (2).

Dans cette intéressante brochure sur le percement du Splügen, M. Canovetti fait ressortir l'importance de cette voie nouvelle, tant au point de vue du Commerce international qu'au point de vue plus spécial du trafic italien.

Après quelques considérations générales sur les Alpes et les passages Alpins, l'auteur montre les avantages que présente la voie du Splügen sur la plupart des autres passages pour un grand nombre de points situés dans l'Italie continentale. Il fait ressortir, au moyen de plusieurs

(1) In-8°, 210 × 135, de vi - 16 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix broché, 0,60 f.

(2) In-8°, 225 × 150, de 48 pages. Firenze, Societa tipografica Fiorentina, 1907.

tableaux, les distances kilométriques entre l'Italie, d'une part, et les pays du Nord d'autre part, suivant que l'on emprunte les différentes voies du Brenner, du Gothard ou du Simplon, enfin du Splügen.

M. Canovetti traite ensuite la question à un point de vue technique : coût total de la ligne, rendement probable au kilomètre ; il préconise la traction électrique pour le passage du tunnel et évalue les dépenses nécessaires à la construction du tronçon de Chiavenna à Coire.

Il termine par la critique et l'examen des différents projets.

J. H.

Étude sur les voûtes et viaducs, par L. Bonneau, Ingénieur des Ponts et Chaussées (1).

M. L. Bonneau, Ingénieur des Ponts et Chaussées, examine, dans cette étude, les efforts qui se développent dans les ouvrages voûtés supportés par des piles élastiques. La première partie traite de la voûte, la seconde de l'ensemble des viaducs.

L'auteur a supposé que, lorsque les matériaux peuvent travailler à l'extension, les sections droites se conservent, c'est-à-dire que la théorie de la flexion peut s'appliquer. Lorsque les matériaux ne peuvent pas travailler à l'extension, il a admis la règle du triangle, qui se réduit de celle de la conservation des sections droites.

M. Bonneau étudie d'abord l'ensemble des ouvrages pouvant travailler à l'extension et ceux qui sont susceptibles de se fissurer ; il a ensuite cherché les corrections que nécessite l'existence des fissures. Après avoir établi les expressions générales de la poussée et du moment fléchissant à la clef, l'auteur examine l'action des charges isolées, l'action des déplacements des appuis et des variations de température, les arcs articulés aux naissances, les fissures qui se produisent dans les voûtes en maçonnerie, etc., etc.

De nombreux tableaux numériques facilitent les calculs.

Le volume se termine par un exemple de calcul d'un viaduc.

T. S. S.

IIe SECTION

L'automobile et les armées modernes, par M. Etienne Taris, ancien élève de l'École Potytechnique (2).

Dans cet ouvrage, l'auteur se propose de montrer l'augmentation de puissance que les armées modernes peuvent retirer de l'emploi des automobiles sous diverses formes.

(1) In-8°, 255 × 165, de x - 192 p., avec 50 fig. et tabl. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix broché, 10 f.

(2) In-8°, 230 × 140 de 351 p. avec 144 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, broché : 10,50 f.

Dans la première partie de son ouvrage, il énumère les expériences faites, à cet effet, dans les diverses armées d'Europe. Puis il étudie le fonctionnement du service des étapes et montre l'insuffisance des ressources actuelles en chevaux et voitures diverses.

Dans la deuxième partie, l'auteur donne un petit traité de technique automobile. Le chapitre relatif aux châssis à six roues et aux balanciers des ressorts est intéressant : les camions automobiles ne peuvent, comme on le sait, être munis de pneumatiques ; de plus, on ne peut pas leur mettre des ressorts très souples de peur de les rendre instables en travers, dans les virages ; or on améliore déjà notablement la douceur de la suspension en leur mettant 6 roues au lieu de 4. De plus, l'emploi des balanciers qui relient les ressorts entre eux diminue encore notablement les secousses dues aux dénivellations de la route. Cependant il faut éviter l'instabilité en long qui résulterait de la conjugaison complète par balanciers. (Cette conjugaison complète et son instabilité ont été étudiées par M. Herdner pour les locomotives.) M. Taris décrit les dispositifs employés dans certains véhicules automobiles pour éviter cette instabilité en long.

Dans la troisième partie, l'auteur parle brièvement des routes, des ballons dirigeables et des aéroplanes.

Puis il explique comment il conçoit l'application des camions automobiles au transport des vivres et des munitions du chemin de fer au lieu du combat.

Il résulte de cet ouvrage que l'emploi en grand des camions automobiles aurait les avantages suivants :

1° Augmentation de la puissance des armées en augmentant la *quantité* de munitions pouvant être transportées journellement ;

2° Augmentation de la puissance des armées en augmentant la *mobilité* du service d'approvisionnements, ce qui permettrait aux armées de se transporter plus vite d'un point à l'autre sans craindre de manquer de vivres et de munitions, ni de voir saisir par l'ennemi les approvisionnements en route ;

3° Augmentation de la puissance des armées en rendant des hommes et des chevaux disponibles pour le combat.

Toutes ces déductions sont logiques. Mais l'auteur estime que l'armée réquisitionnera simplement les camions automobiles du commerce et de l'industrie qu'il espère voir se multiplier rapidement; il y aura suivant nous une difficulté, en cas d'avaries, à cause de la grande diversité des moteurs, diversité qui ne permettra pas à l'armée d'avoir des pièces de rechange. Peut-être arrivera-t-on, plus tard, à adopter pour l'armée un type unique de camion automobile pouvant être construit par tous les constructeurs ; on pourrait avoir alors des parcs mobiles de pièces de rechange. Mais ces créations entraîneraient une grande dépense.

En attendant, l'autorité militaire continue à faire des expériences ; elle prendra une décision en toute connaissance de cause.

G. M.

La vapeur surchauffée. *Leçons faites en 1907-1908*, par M. L. Marchis (1), Lauréat de l'Institut, professeur de physique générale à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Ces leçons ont été réunies dans un volume de 733 pages autographiées, qui constitue le travail le plus important qui ait été publié jusqu'ici sur la vapeur surchauffée. Il est divisé en sept chapitres.

Dans le premier chapitre, l'auteur rappelle les principes fondamentaux de la thermo-dynamique, dans le deuxième, les propriétés de la vapeur d'eau saturée et de la vapeur d'eau surchauffée. Le troisième chapitre est consacré à l'étude des divers types de chaudières; après des généralités sur le fonctionnement des générateurs, leur forme, les matériaux employés, leur encombrement, leur puissance, leur rendement et leur coefficient de vaporisation, l'auteur passe en revue les divers types de chaudières qu'il classe de la façon suivante : chaudières cylindriques non tubulaires à foyer extérieur ; générateurs à tubes de fumée; chaudières à foyer intérieur; chaudières à tubes d'eau.

Dans le quatrième chapitre, l'auteur arrive aux surchauffeurs et décrit d'abord ceux annexés à des chaudières fixes, puis ceux annexés à des chaudières de locomotives, ceux de locomobiles et ceux de chaudières marines.

Le cinquième chapitre est consacré uniquement aux conduites de vapeur surchauffée. M. Marchis fait ressortir la nécessité de protéger les conduites de vapeur surchauffée contre le refroidissement en les entourant partout de calorifuge efficace même sur les brides et en adoptant des diamètres plus réduits. C'est là un des points les plus importants dans l'utilisation d'une installation à vapeur surchauffée. Il est très oublié dans les essais et les publications sur la surchauffe et les surchauffeurs.

Le sixième chapitre est consacré à l'étude des machines à pistons fonctionnant à vapeur d'eau surchauffée. L'auteur étudie spécialement les organes de machines, en vue de leur appropriation à l'utilisation de la vapeur surchauffée, cylindres à vapeur et pistons, presse-étoupes, distributions, graissage.

Enfin, dans le dernier paragraphe, M. Marchis expose les économies de vapeur, de calories et de combustibles réalisées par l'emploi de la vapeur surchauffée. Il parle de travaux qui ont été faits sur le sujet par M. Georges Duchesne et M. Witz, et de différents essais effectués par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur et autres, et il termine par les résultats obtenus sur les locomotives à vapeur surchauffée en Prusse et en Belgique.

C. C.

(1) In-8°, 265 × 200, de 30-733 pages, avec 352 figures autographiées. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 22,50 f.

IIIe SECTION

Dictionnaires techniques illustrés en six langues. — Troisième volume. *Chaudières, machines et turbines à vapeur.* Publié sous la direction de M. Wilhelm Wagner, Ingénieur (1). — Quatrième volume. *Moteurs à combustion interne.* Publié sous la direction de M. Karl Schikore, Ingénieur (2).

Ces Dictionnaires techniques illustrés en français, anglais, allemand, russe, italien et espagnol embrassent toutes les branches de l'art de l'Ingénieur et formeront une collection unique de vingt volumes, tous établis sur les mêmes bases.

Après avoir fait paraître les volumes relatifs aux outils usuels et à l'électro-technie, les éditeurs offrent actuellement deux très intéressants recueils, l'un sur les chaudières, machines et turbines à vapeur et l'autre sur les moteurs à combustion interne.

Ces dictionnaires sont établis suivant un plan nouveau basé sur le classement méthodique des mots techniques de la spécialité choisie et le texte est très heureusement complété par des dessins bien exécutés représentant les appareils correspondant à la plupart des mots.

De plus, à la suite de la nomenclature méthodique on trouve une classification alphabétique des termes usités dans les cinq langues employant les caractères latins.

En ce qui concerne les deux volumes qui viennent de paraître, il convient d'ajouter que les personnalités françaises qui ont contrôlé les traductions nous sont un sûr garant de l'exactitude des renseignements actuellement offerts au public dans les spécialités en question.

Lucien Périssé.

Récréations mathématiques et problèmes des temps anciens et modernes, par W. Rouse Ball, traduits et complétés par J. Fitz Patrick (3).

Le premier volume renferme d'abord une histoire des nombres, pleine d'érudition, puis une série de problèmes d'arithmétique et d'algèbre tirés d'anciens auteurs ou simplement modernes, conduisant à des solutions récréatives, paradoxales ou transcendantes.

Le deuxième volume traite des questions les plus variées, géométriques et mécaniques. Il donne l'explication de jeux ou de problèmes à caractère scientifique.

Le traducteur a fait en outre à l'édition anglaise des additions inté-

(1) Le 3e volume in-16, 175 × 105 de xii-1322 p. avec 3 500 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins. Prix : cartonné, 19 f.

(2) Le 4e volume in-16, 175 × 105, de x-618 p. avec 1 000 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins. Prix : cartonné, 10 f.

(3) Deux vol. in-16, 190 × 140 de 356 p. avec 11 fig. et de 364 p. avec 158 fig., Paris, A. Hermann, 6, rue de la Sorbonne, 1907-1908. Prix : broché, 5 f chaque.

ressantes sur le carrelage ou le parquetage, le jeu de dominos, la quadrature du cercle.

R. Ball termine son ouvrage par trois problèmes célèbres : la duplication du cube, la trisection de l'angle et la quadrature du cercle.

Cet ouvrage est bien l'œuvre d'un mathématicien de grande valeur, doublé d'un érudit des plus distingués.

G. Leroux.

Le Contremaître mécanicien, par J. Lombard, Chef d'atelier à l'École Nationale d'Arts et Métiers de Lille, et J. Caen, Inspecteur de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail (1).

La première partie de cet ouvrage renferme les notions d'arithmétique, de géométrie, de trigonométrie, de physique, de chimie, de mécanique et d'électricité ; pour chacun des principes énoncés dans cette première partie, il est donné une démonstration simple et précise ; d'autre part, des exercices numériques très nombreux accompagnent chacune de ces démonstrations ; l'électricité, dont les applications industrielles sont de plus en plus nombreuses, a été étudiée avec un soin particulier.

L'étude des moyens permettant d'assurer l'ordre dans un atelier, ainsi que l'étude des précautions prises dans les ateliers modernes pour assurer aux ouvriers les meilleures conditions de travail au point de vue de l'hygiène et de la prévention des accidents, constituent la deuxième partie.

Enfin, la troisième partie se rapporte à l'étude des lois ouvrières ; afin de rendre cette dernière partie aussi claire que possible, le texte de chacune des lois est suivi d'un commentaire constitué par une série de demandes et de réponses.

C. C.

Agenda Dunod 1908. — *Mécanique* (2).

Cet agenda a été revu par M. Richard, Ingénieur civil des Mines. Il contient, sous une forme condensée, les renseignements nécessaires aux ingénieurs, constructeurs, mécaniciens, industriels, chefs d'atelier et contremaîtres pour les applications de la mécanique.

Les matières traitées sont les suivantes :

Résistance ou mouvement ; — transmission du mouvement par adhérence ; — résistance des matériaux ; — écoulement des fluides : eau, gaz, vapeur ; — roues hydrauliques ; — turbines ; — moteurs à air comprimé ; — chaudières et moteurs à vapeur ; — moteurs à gaz et à pétrole ; — essais des moteurs à vapeur, à gaz et à pétrole ; — mesures anglaises usitées en mécanique ; — législation et instructions sur les appareils à vapeur ; — liste par spécialités des principaux fournisseurs de la mécanique.

C. C.

(1) In-8°, 210 × 185 de vi-505 p., avec 317 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustin, 1906. Prix, broché : 7,50 f.

(2) In-16, 150 × 110 de 10-vi-192-lxiv p., Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, relié : 2,50 f.

Les origines de la Statique, par P. Duhem, correspondant de l'Institut de France, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. — Tome II (1).

Le premier volume de ce remarquable travail a eu pour principal objet de suivre, parmi mille vicissitudes, le développement des méthodes que les *Auctores de ponderibus* avaient créées ; de ce développement est issue la statique cartésienne, fondée tout entière sur l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant.

Les deux premiers chapitres du deuxième volume retracent l'évolution des idées émises par les maitres scolastiques ; on y voit cette évolution aboutir au célèbre principe de Torricelli : « Un système pesant dont le centre de gravité se trouve aussi bas que possible est assurément en équilibre. »

Le germe qui devait donner naissance à cette vérité se devine, vague et indistinct, dans les écrits de très anciens commentateurs d'Aristote, de Simplicius, par exemple ; au XIVe siècle, il se précise dans les livres d'Albert de Saxe et prend cette forme : « En tout grave, il y a un point bien déterminé, le centre de gravité, qui tend à se placer au centre des choses pesantes. »

Cette proposition, qui se montrera extrêmement féconde en conséquences, implique une importante erreur : l'existence d'un centre de gravité fixe en un corps pesant est liée à la supposition que les verticales des divers points de ce corps peuvent être regardées comme parallèles entre elles ; elle est incompatible avec l'existence, à distance finie, d'un commun centre des choses pesantes. Tout erronée soit-elle, cette proposition s'impose, indiscutée, à tous les esprits ; elle est prise « pour un axiome, le plus clair et le plus évident qu'on peut demander. »

La révolution copernicaine, en déplaçant le centre de l'univers, ne ruina pas ce principe ; elle l'obligea seulement à se modifier ; le centre de la terre fut substitué au centre commun des graves et l'axiome ainsi rajeuni put recevoir la constante adhésion de Galilée.

Les conséquences visiblement inadmissibles que Fermat déduisit de cette proposition erronée purent seules en amener la ruine, tandis que les corollaires utiles que l'on en avait déduits prenaient enfin une forme correcte.

Le principe faux qui avait si longtemps dirigé la statique de l'école avait aussi produit la théorie géodésique, le plus généralement enseigné dans les universités ; aussi l'histoire de la science de l'équilibre se trouve-t-elle liée d'une manière inextricable à l'histoire des doctrines qui ont été émises, au moyen âge et à l'époque de la Renaissance, touchant la figure de la terre et des mers. Cette dernière histoire se mêle alors à celle des propriétés du centre de gravité.

C. C.

(1) In-8°, 250 × 165 de VIII-364 p. Paris, A. Hermann, 6, rue de la Sorbonne, 1906. Prix, broché : 10 f.

Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur, par M. J. Lombard, chef d'atelier à l'École d'Arts et Métiers de Lille. — 2[e] édition, revue et augmentée (1).

Ce livre s'adresse aux ouvriers et aux contremaîtres tourneurs. Il comprend trois parties distinctes. La première partie renferme les notions d'arithmétique, de géométrie et de mécanique indispensables dans les travaux de tournage; l'étude des outils de tours, des différents types de tours avec leur installation, leur contrôle et leur emploi constitue la deuxième partie. Enfin, la troisième partie se rapporte aux calculs des roues d'engrenages pour tous les travaux de filetage.

Pour chacun des principes énoncés dans ce livre, l'auteur a donné une démonstration simple et précise; des exercices numériques très nombreux accompagnent chacune de ces démonstrations.

Différents renseignements pratiques complètent heureusement les renseignements précédents et sont de nature à rendre de véritables services à ceux qui se serviront de ce livre.

En résumé, le manuel de M. J. Lombard est rédigé de telle façon qu'il peut être compris par tous; il constitue un ouvrage de vulgarisation scientifique à l'usage des travailleurs, dont il est utile de rappeler les qualités pratiques aux Ingénieurs et Chefs d'industrie.

Lucien Périssé.

Agenda Dunod 1908. — *Usines et Manufactures*, par M. Paul Razous, Ingénieur (2).

Cet agenda est divisé en deux parties : l'une technique, l'autre législative.

Dans la première partie, l'auteur traite d'abord des machines motrices, des moteurs à vapeur, à gaz, à pétrole et à alcool, du calcul des arbres et courroies, des essais de machines électriques et des transformateurs, puis des machines-outils, métiers et meules, des machines et dispositifs utilisés pour le déplacement des fardeaux, soit dans le sens vertical seulement, soit dans plusieurs sens, de l'alimentation dans les établissements industriels, et enfin des mesures préventives réglementaires contre l'incendie dans les établissements industriels et commerciaux.

Dans une seconde partie, l'auteur reproduit la loi du 24 juillet 1867 sur les Sociétés, avec les modifications apportées par la loi du 1[er] août 1893; puis il passe en revue les textes législatifs sur la réglementation du travail, sur la réglementation des établissements insalubres, dangereux et incommodes, sur les accidents du travail eux-mêmes, sur les adjudications publiques; puis il parle des règlements des conflits entre les patrons et les ouvriers, des retraites ouvrières, et il reproduit la loi du 12 janvier 1875 sur la saisie-arrêt du salaire des ouvriers ou employés.

C. C.

(1) In-8°, 215 × 135 de 232 p. avec 204 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 4,50 f.

(2) In-16, 150 × 110 de 14-VIII-256-LXIV p., Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, relié : 2,50 f.



IVe SECTION

Les argiles réfractaires, par M. le Prof. Carl Bischof. Traduit par M. O. Chemin (1).

M. O. Chemin, qui a déjà tant contribué à vulgariser en France les publications techniques de l'étranger, nous donne une traduction de l'ouvrage du Prof. Bischof sur les argiles réfractaires. C'est un traité fort complet où l'auteur a groupé, à côté de ses observations personnelles, toutes les données intéressant la production et l'utilisation des produits réfractaires.

Un premier chapitre est consacré aux gisements de l'argile dans les différents pays. Puis l'auteur étudie la composition des argiles et son influence sur leur pouvoir réfractaire. Il insiste notamment sur l'insuffisance de l'analyse chimique pour classer les argiles au point de vue réfractaire; et, cherchant à exprimer ce pouvoir réfractaire par un coefficient, il en propose un qui diffère de ceux donnés antérieurement par Seger et par lui-même en ce qu'on y distingue entre la silice libre et la silice de combinaison. L'auteur donne ensuite une classification pratique des argiles au moyen d'une échelle formée d'un certain nombre d'argiles allemandes dites normales, dont l'homogénéité et la régularité permettent de faire des repères.

Les chapitres suivants traitent de la préparation mécanique de l'argile, des additions, enfin des diverses phases de la fabrication des produits réfractaires. L'ouvrage se termine par une étude des propriétés particulières de ces différents produits, chamottes, dinas, pierres de bauxite, de magnésie, de dolomie et de chromite, étude au cours de laquelle l'auteur nous détaille les conditions de leur utilisation dans l'industrie.

E. R.

Fabrication du fer-blanc, par M. Georgeot, métallurgiste, expert au Conseil de Préfecture de la Seine (2).

Dans cet opuscule M. Georgeot étudie d'une façon très complète la fabrication du fer-blanc. Il commence par faire l'historique de cette industrie, indique les qualités que le fer-blanc brillant doit posséder, les usages auxquels il est employé en insistant particulièrement sur l'industrie des conserves. Il s'occupe ensuite du fer-blanc terne et de son emploi.

M. Georgeot décrit sommairement la fabrication des lingots d'acier qui, laminés en barres plates, (largets) servent à produire le fer noir, tôle mince qui une fois étamée constitue le fer-blanc. Il insiste sur le traitement que l'on fait subir au fer noir pour le rendre propre à l'éta-

(1) In-8°, 250 × 165, de 604 p., avec 93 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1906. Prix, broché : 18 f.

(2) In-8°, 210 × 140 de 92 p. avec 19 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, broché : 2,50 f.

mage ; il s'étend longuement sur les divers procédés d'étamage pour en arriver à l'établissement des prix de revient.

Toute cette étude faite avec soin peut donner des indications utiles non seulement aux personnes qui s'occupent de la fabrication du fer-blanc, mais aussi à celles qui l'utilisent.

J. P.

Les radiations des corps minéraux, par Henri MAGER (1).

L'ouvrage de M. Henri Mager comporte d'abord un exposé historique des expériences effectuées dans le passé sur la baguette des « sourciers » pour la découverte des sources cachées et même des gisements métallifères ; mais il s'attache surtout à la description des procédés employés par un sourcier contemporain, M. Jansé, qui a, dit-il, transformé ces méthodes d'investigation et les appareils employés pour leur donner en quelque sorte un caractère scientifique.

Beaucoup de ses lecteurs liront ce travail avec une vive surprise mêlée d'incrédulité, car ils considèrent en général que cet emploi de la baguette des sourciers destinée à révéler l'existence de prétendues radiations invisibles qui agissent en attirant ou repoussant la baguette ne peut reposer en fait sur aucun principe sérieux; elle est frappée dans l'esprit des savants d'un discrédit qui parait bien justifié, et cependant, il faut reconnaître que, depuis longtemps, elle a toujours conservé des partisans convaincus, et l'ouvrage de M. Mager cite en effet dans sa partie historique de nombreux exemples d'expériences heureuses dont elle a été l'objet depuis le XVIIe siècle jusqu'à nos jours. Ajoutons qu'elle a été étudiée récemment par de nombreux chercheurs, savants ou philosophes, qui ont dû s'incliner devant les faits. Ils n'osent plus nier ses propriétés étranges, mais ils s'attachent maintenant à en chercher l'explication, et ce n'est certainement pas un des moindres symptômes des transformations profondes que nos conceptions intellectuelles sont appelées peut-être à subir encore dans l'avenir, que de voir ces méthodes de recherches d'effluves invisibles présentées aujourd'hui devant un public d'Ingénieurs comme étant susceptibles de leur donner des résultats précis qu'ils obtiendraient très difficilement par des travaux matériels.

Nous sentons en effet que nous n'avons plus le droit de nier *a priori* toutes ces actions mystérieuses, depuis que nous connaissons les phénomènes de radio-activité, et que nous savons que, suivant toutes probabilités, ces phénomènes ne sont pas le privilège exclusif de certains corps exceptionnels, mais qu'ils se retrouvent à peu près sur tous les corps matériels. Seulement, si nous sommes obligés d'admettre en principe la possibilité de ces radiations invisibles, nous avons le droit d'être d'autant plus exigeants sur la vérification expérimentale, et celle-ci devra être effectuée avec d'autant plus de soin que les phénomènes annoncés sont plus difficilement explicables.

(1) In-4°, 315 × 215 de 72 p. avec 66 phot. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1909. Prix : broché, 3 f.

A en croire M. Mager, cette vérification aurait été faite à plusieurs reprises, d'une manière satisfaisante, et dans des pays fort différents pour M. Jansé et pour les appareils qu'il emploie; il cite en effet de nombreux exemples de sources minérales ou de gisements métallifères qu'il aurait découverts. Il y a lieu de penser que ces résultats étranges tiennent avant tout au tempérament spécial de M. Jansé dont la sensibilité particulière est influencée sans doute par le voisinage des sources ou des filons, comme c'est le cas pour tous les sourciers ; mais ce qui fait en plus l'originalité de M. Jansé, c'est qu'il a donné un caractère plus scientifique à ces recherches, dont il prétend pouvoir déduire des données tout à fait précises sur l'emplacement exact, la profondeur, l'importance, la direction, le débit des sources, la richesse des filons ou gisements métallifères qu'il étudie.

M. Jansé admet que tous les corps de la nature émettent des effluves agissant par attraction ou répulsion, comme l'électricité ou le magnétisme. Il les répartit à ce point de vue en trois catégories distinctes :

Les corps dits positifs, comprenant en particulier le cuivre, les métaux précieux, le charbon de bois, etc.;

Les corps dits négatifs, comprenant en particulier le fer, le nickel, l'aluminium, le caoutchouc, le verre, etc.;

Et enfin les corps neutres, comme la terre arable, les calcaires, la porcelaine, etc.

Partant de cette distinction, il s'est constitué deux appareils révélateurs métalliques, dont l'un en cuivre est repoussé par les corps positifs, et l'autre en nickel est repoussé par les corps négatifs.

A l'aide de ces appareils, M. Jansé est arrivé à mesurer comparativement l'intensité radiante des différents corps, et il trouve ainsi que 1 kg de cuivre équivaut, à ce point de vue, à 100 kg d'acier, à 0,00087 kg d'or, ou à 250 kg de charbon de terre, etc.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans la description des méthodes d'investigation employées par M. Jansé pour déterminer, dit-il, tous les renseignements concernant les gisements invisibles dont l'existence lui est ainsi révélée par ses appareils, car nous ne pouvons pas nous empêcher de penser que le succès de ces méthodes tient surtout au tempérament particulier de leur auteur, et les résultats seraient probablement bien différents si elles étaient appliquées par d'autres personnes n'ayant pas la même sensibilité à ces radiations.

L. Baclé.

Ve SECTION

Les déchets et sous-produits des abattoirs, de boucherie et de fabriques de conserves de viande (*Utilisation, Désinfection*), par Ernest Poher et Paul Razous (1).

La Société d'Éditions techniques poursuit la mise à jour des diffé-

(1) In-8°, 250 × 160 de 103 p. avec 12 fig. Paris, Société d'Éditions techniques, 16, rue du Pont-Neuf, 1908. Prix : broché, 3 f.

rents procédés de conservation et d'utilisation des matières animales dont il a été fait mention, ici même, à plusieurs reprises.

Dans ce nouvel opuscule, MM. E. Poher et P. Razous étudient la nature et la provenance des déchets d'animaux, l'extraction des graisses y contenues, les emplois industriels de ces déchets (en particulier celui du sang et des os), et ils terminent cette intéressante revue, par l'utilisation des viandes insalubres, et par l'emploi des sous-produits de conserves des viandes ou des matières résiduaires des abattoirs.

Ed. C.

L'air et les effets de son impureté sur la santé (1), par M. J. Dulac, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Notre collègue, M. J. Dulac, à la suite d'une fâcheuse expérience personnelle, a jugé utile d'appeler l'attention sur l'influence que peuvent avoir sur l'hygiène et la santé les appareils de chauffage et de combustion situés tant dans l'habitation elle-même que dans le voisinage plus ou moins immédiat. Cette influence se traduit soit par des accidents à effets immédiats qui émeuvent le public et aussi par une action lente et répétée, véritable empoisonnement continu dont les suites quelquefois fatales restent ignorées. Il n'y a pas de question d'hygiène plus importante et d'un intérêt plus général et plus constant. Il est bon en effet de rappeler que l'homme adulte respire plus de 25 000 fois par jour et que son cœur bat plus de 100 000 fois dans le même temps.

L'auteur étudie d'abord le rôle de la respiration qui est la fonction primordiale de laquelle dépendent toutes nos autres fonctions et les lois mathématiques qui la régissent; il passe ensuite à l'étude du chauffage, source de gaz nuisibles, développés dans l'acte de la combustion et à celle des conditions d'insalubrité et des dangers dépendant des appareils de chauffage situés tant à l'intérieur du logement qu'au dehors dans le voisinage, car il ne faut pas perdre de vue que les gaz irrespirables et les fumées produites dans une agglomération créent une atmosphère intoxicante qui, malsaine pour les gens bien portants, peut être funeste aux malades qui, immobilisés, ne peuvent s'en défendre.

Les conséquences physiologiques de cet état de choses sont sérieuses. Comme nous l'avons vu au début, elles peuvent être brusques ou lentes; de plus, ne peut-on admettre que, par des modifications qu'apporte l'action de gaz nuisibles aux organes et aux fonctions, elle ne puisse jouer un rôle dans l'effet de certaines épidémies ? M. Dulac ne serait pas éloigné de voir dans cette influence l'explication de bizarreries qu'on constate dans la marche du choléra, de l'influenza, et autres maladies épidémiques.

Après avoir signalé le mal, ses causes et ses effets, il donne des conclusions pratiques relatives aux précautions à prendre tant pour les constructions neuves que pour les constructions existantes, pour les diverses pièces de ces constructions et pour les appareils et installations divers.

(1) In-8°, 200 × 130 de VI-235 p. Paris, Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, 1900.

Nous signalerons des considérations sur l'utilité pour les médecins et architectes dont les professions sont celles dont le savoir intéresse le plus directement l'existence humaine, d'études complémentaires sur les questions de physique et d'hygiène.

En résumé, l'ouvrage que vient de publier M. Dulac traite de questions d'un intérêt journalier et universel, questions qu'on est trop porté à négliger par l'habitude qu'on a de n'attribuer que peu ou point d'influence à des causes en apparence minime qu'on ne sait pas relier à leurs effets, et à ce titre il nous a paru utile de le signaler à nos collègues.

A. M.

Installation des ateliers et usines, par M. Paul Razous. 2e édition modifiée (1).

Cet ouvrage a été écrit dans le but d'être utile à tous ceux qui, de près ou de loin, sont en rapport avec l'industrie.

L'auteur y présente, sous une forme simple et aussi concrète que possible, les principes relatifs à la création, à la construction et à l'agrandissement des établissements industriels.

Il passe successivement en revue : le choix de l'emplacement suivant le genre d'industries ou d'exploitations que l'on a en vue; la question importante des formalités administratives préalables à la création des usines et de leurs dépendances; celles des formes générales des usines et données sur leur construction; puis la question du choix de la force motrice; celles des transports de force et transmissions de mouvements et des transports et manutentions des matières premières et produits fabriqués; et enfin les questions se rapportant aux agrandissements d'établissements industriels existants et aux modifications susceptibles d'être réalisées dans des établissements déjà en fonctionnement.

La première édition de cet ouvrage avait déjà obtenu un grand succès. La deuxième édition modifiée sera utile à consulter par ceux qui ont à s'occuper d'installation d'ateliers et d'usines.

F. C.

Toute la Chimie minérale par l'Électricité, par Jules Séverin (2).

Le sous-titre de cet ouvrage « Rien d'impossible par l'Électricité » est une profession de foi qui avertit le lecteur des conceptions de l'auteur. Celui-ci a réuni en un volume un grand nombre d'observations sur les applications du courant électrique à la préparation et à l'analyse des corps inorganiques. Il renferme sous une forme originale,

(1) In-8°, 255 × 165 de II-332 p. avec 115 fig. Paris, Société d'Éditions techniques, 16, rue du Pont-Neuf, 1907. Prix : broché, 7,50 f.

(2) In-8°, 255 × 160, de V-792 p., avec 66 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 25 francs.

accompagnée d'observations que nous nous permettons de trouver parfois bien hardies, la description d'un nombre considérable d'expériences personnelles de l'auteur.

Quoi qu'il en soit, nous conseillons la lecture de cet ouvrage à tous les électrochimistes : il les portera à la réflexion, provoquera la discussion à la suite des conclusions de l'auteur qui ne sont pas toujours conformes aux idées actuelles. Ils y puiseront surtout une haute estime pour l'enthousiasme de M. Séverin. H. G.

Traité d'analyse chimique industrielle, commerciale, agricole, par MM. G. Bourrey et Eug. Marquet (1).

Ce traité parait bien répondre aux besoins actuels de l'industrie, du commerce et de l'agriculture. Les auteurs, en dehors des méthodes analytiques officielles, ont pris soin d'indiquer les procédés rapides, plus simples que ceux de la chimie pure. En particulier, ils ont rassemblé toutes les nouvelles méthodes physiques, mécaniques, micrographiques qui rendent aujourd'hui tant de services aux laboratoires industriels. Dans cet ordre d'idées, ils ont fait une large place à la métallographie pour l'analyse des alliages.

La recherche des falsifications de toutes les denrées fait aussi l'objet de chapitres très détaillés et clairement présentés.

Ce traité a sa place marquée dans la bibliothèque de tous les laboratoires.

E. B.

Memento du Chimiste, par MM. A. Haller et Ch. Girard (2).

Le Mémento du Chimiste est la résurrection de l'Agenda du Chimiste qui pendant vingt années eut un succès soutenu. Rendu à l'existence sous la direction de deux maitres tels que MM. Haller et Ch. Girard, et avec la collaboration de chimistes distingués, ce Memento s'est augmenté de bien des chapitres, notamment au point de vue des procédés d'analyse appliqués aux matières alimentaires et aux produits usités dans les industries les plus diverses.

Le Mémento reprendra dans les laboratoires la place qu'y tenait si honorablement son devancier l'Agenda du Chimiste. C'est l'aide-mémoire que le Chimiste a constamment besoin d'avoir sous la main pour le consulter.

E. B.

(1) In-8° 250 × 165 de xxiii-976 p. avec 184 fig. et 52 photogrammes. Paris, Octave Doin, 8, place de l'Odéon, 1908. Prix, relié : 20 f.

(2) In-8°, 205 × 130 de xx-758 p. avec tabl. et fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, cartonné : 12 f.

Fabrication des colles et gélatines, par M. J. FRITSCH, Ingénieur-chimiste (1).

Cet ouvrage est divisé en trois parties. Dans la première, l'auteur étudie la fabrication des colles d'origine animale et donne un aperçu de la théorie du collage et des méthodes d'essai des colles.

La seconde partie est consacrée aux matières adhésives d'origine végétale : la gomme arabique, l'amidon et la dextrine.

Enfin la troisième partie donne des recettes de colles liquides et d'adhésifs divers.

Cet ouvrage écrit avec ordre et clarté et donnant des renseignements essentiellement pratiques, sera lu avec profit par tous ceux que la question intéresse.

F. C.

L'eau industrielle, 2e édition, par H. DE LA COUX (2).

La première édition de cet important travail traitait de la composition des eaux et de l'influence résultant de cette composition, aux multiples points de vue des désordres pouvant en résulter dans l'usage industriel, avec indication des correctifs à y apporter. Elle envisagerait également la question des eaux résiduaires et des procédés divers de leur épuration.

La nouvelle édition comporte, en outre, une étude toute spéciale sur les corrosions des générateurs de vapeur industriels et marins.

Cet ouvrage sera consulté avec fruit par le grand nombre des Ingénieurs que la question des eaux intéresse.

P. VINCEY.

Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles, par Paul RAZOUS (3).

La question de l'épuration des eaux industrielles et des eaux d'égout est des plus importantes et des plus complexes. Elle est intimement liée à l'assainissement des fleuves, des rivières, des ruisseaux et à la salubrité des territoires situés aux alentours des grandes villes ou aux environs de certaines usines.

Lorsqu'il s'agit d'eaux résiduaires de l'industrie, il est utile de chercher à récupérer les sous-produits qu'elles renferment; aussi les industriels doivent-ils se renseigner sur les procédés et les meilleures méthodes d'épuration, de récupération et d'utilisation. Souvent cette récupération sera rémunératrice et par conséquent les frais d'installation seront rapidement couverts; dans d'autres circonstances, il est vrai, l'épuration et la récupération ne produiront aucun bénéfice direct en

(1) In-12, 190 × 130 de 212 p. avec 6 fig. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 3,50 f.

(2) In-8°, 255 × 160 de 545 p. avec 134 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, broché : 16 f.

(3) In-8°, 255 × 165 de xv-192 p. avec 19 fig. Paris, Société d'Éditions techniques, 16, rue du Pont-Neuf, 1908. Prix, broché : 7,50 f.

raison de la valeur infime des produits récuperés, mais en ce cas le chef d'industrie évitera les réclamations des voisins et par conséquent d'assez fréquentes demandes en dommages-intérêts.

M. Razous indique pour un grand nombre de fabrications, les divers moyens d'épuration des eaux résiduaires, ainsi que les modes d'extraction des sous-produits ayant une valeur appréciable et habituellement supérieure aux frais occasionnés par le traitement.

Pour les eaux d'égout, qui sont de beaucoup les plus importants facteurs de contamination des rivières, l'auteur signale les procédés d'épuration pratiquement applicables dans toutes les circonstances actuelles, et assez peu coûteux pour ne point entrainer des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre.

P. Vincey.

Précis arithmétique des Calculs d'emprunts à long terme et de valeurs mobilières, par M. Henri Sarrette (1).

Parmi les questions financières d'une application courante, les calculs des emprunts à long terme et ceux des valeurs mobilières qui en découlent ont une importance particulière, parce qu'ils intéressent à la fois le financier et le capitaliste, l'homme d'affaires et le rentier. L'établissement des plans d'amortissements d'emprunts, la détermination des usufruits et des nues propriétés, la recherche des prix de toutes valeurs procurant un taux de rendement convenu ou des taux réels d'intérêt correspondant à des cours fixés, l'influence des impôts sur la valeur des éléments d'un emprunt ou d'un placement, les calculs de parités, sont des opérations qui devraient être connues du grand public et lui restent, en fait, le plus souvent étrangères.

Cela tient à ce que ces questions sont souvent présentées avec des développements par trop spéciaux, alors que le sujet peut être traité très simplement. La théorie des emprunts n'est, en effet, qu'une application d'un chapitre de l'arithmétique, celui de l'intérêt composé, et la pratique consiste seulement dans le maniement des Tables courantes, ne présentant en soi aucune difficulté.

C'est dans cet ordre d'idées que M. Henri Sarrette a composé son ouvrage, qui est divisé en deux parties.

Dans la première il donne un exposé complet des règles à suivre dans les calculs des éléments des emprunts et des valeurs mobilières. Cinq tables financières, deux de valeurs acquises, deux de valeurs actuelles, une d'annuités, forment la seconde partie.

En résumé, le Précis de M. Henri Sarrette a pour objet la vulgarisation, par la seule méthode arithmétique, de tous les calculs d'emprunts et de valeurs mobilières. Il ne peut manquer de rendre de grands services à tous ceux qui s'intéressent aux opérations de crédit et aux questions de placements de fonds.

F. C.

(1) In-8°, 255 × 165 de IX-287 p. Paris, Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 10 f.

Fantasias (1), par M. MAX DE NANSOUTY.

Dans les multiples anecdotes du livre *Fantasias*, le bien aimable et charmant auteur des *Causeries scientifiques* du journal *le Temps*, M. Max de Nansouty sait bien amuser et divertir le lecteur, mais il sait encore éveiller en lui l'amour des beautés de la science. Il faut remercier M. Max de Nansouty d'avoir voulu doter la bibliothèque de la Société des Ingénieurs Civils de ses charmantes nouvelles.

Elles seront attrayantes pour l'Ingénieur et lui feront apprécier l'art et le talent que M. Max de Nansouty déploie à faire la propagande des idées scientifiques parmi ses jeunes lecteurs et à former de nouvelles et bonnes recrues pour la grande armée des hommes de science.

Léopold APPERT.

Filtres à sables non submergés, par Louis BAUDET (2).

Rien ne préoccupe davantage les hygiénistes que l'alimentation des villes en eau potable. De même que celle de leur adduction, la question de purification des eaux destinées aux usages alimentaires publics ou privés intéresse très vivement les Ingénieurs sanitaires.

Résultat de recherches et de pratique de quinze années, le travail de M. Louis Baudet, s'adresse aussi aux entrepreneurs, aux administrations et aux hygiénistes.

P. VINCEY.

Initiation géométrique, en 12 causeries inédites, à la portée de tout le monde, par M. Paul BLANCARNOUX, Ingénieur Civil, professeur de sciences appliquées (3).

Cette brochure fait partie d'une petite encyclopédie de vulgarisation scientifique « L'art d'apprendre à tout âge ».

Il a paru très utile à M. Paul Blancarnoux de présenter un travail nouveau, du genre vulgarisateur, mais plus à la portée tangible intime des enfants (et aussi de quelques grandes personnes qui n'ont pas complètement retenu les quatre règles arithmétiques) et qui, nous en sommes persuadés, s'intéresseront, comme à tout autre jeu de leur âge, aux douze attrayantes causettes présentées, sans aucune prétention, et traitant des premiers rudiments de la science de l'espace. F. C.

(1) In-18, 185 × 120, de 318 p. Paris, Boivin et Cie, 5, rue Palatine. Prix : broché, 3,50 f.

(2) In-8°, 255 × 165 de 45 p. avec 7 pl. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, broché : 1,50 f.

(3) In-18, 170 × 110 de 76 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908, prix : broché, 1 franc.

Les produits industriels des goudrons de houille et leurs applications, par Vladimir de Vulith (1).

Cet ouvrage, complément nécessaire à toute étude générale de chimie organique, contient en un nombre de pages relativement restreint, toutes les données concernant les produits industriels et marchands des goudrons.

Données d'exploitation et rendements; marchés et cours; spécifications des marchandises : naphte, phénols, créosote, huiles, benzines, résorcine, etc.

Et leurs applications dans le commerce et l'industrie.

Principales conditions exigées des consommateurs et manière de reconnaître les produits au point de vue pureté et falsifications, leurs inconvénients et dangers s'y trouvent exposés avec une rare compétence.

En outre, plusieurs tableaux ayant trait aux goudrons, aux créosotes et aux benzines, complètent cet ouvrage.

A la fin du livre se trouve un chapitre spécial relatant les divers ouvrages d'intérêt général sur la chimie organique et particulièrement sur les goudrons de houille.

L. d'Anthonay.

Le chauffage des habitations (2), par G. Debesson.

Parmi les multiples questions que l'art de l'architecte et la science de l'Ingénieur ont à résoudre en collaboration, pour répondre à la fois aux prescriptions de l'hygiène et aux exigences du bien-être dans nos habitations modernes, le chauffage et la ventilation arrivent au premier rang.

Pendant bien longtemps, ce ne fut souvent que par empirisme que cette délicate question fut résolue. De là des déboires sans nombre et la condamnation d'appareils qui, mal installés, furent considérés, et le sont encore, comme impropres au chauffage.

De là la nécessité d'étudier les différents systèmes dans leurs moindres détails. C'est ce que M. Debesson, si qualifié par sa grande expérience du chauffage comme théoricien et praticien, a entrepris dans son ouvrage : *le Chauffage des habitations*. Là, il passe en revue tout ce qu'il est indispensable de connaître.

Ainsi, dans ses notions préliminaires, il traite les questions d'hygrométrie et de ventilation au point de vue des différents volumes d'air nécessaires à une bonne hygiène.

Puis, passant en revue l'historique du chauffage, il donne les meilleurs rendements d'une cheminée dont l'emploi, hélas ! se raréfie de plus en plus, pour notre commodité, peut-être, mais contre les bienfaits de notre santé, assurément.

(1) In-8°, 190 × 120 de 168 p. avec 5 fig. Paris, Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins; Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain, 1907. Prix, broché : 2,50 f.

(2) In-8°, 255 × 165, de xvi-668 p. avec 714 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 25 f.

Parlant de la transmission de la chaleur, il fournit quelques renseignements pratiques et utiles à retenir; nous entretient des poêles à combustion vive, les seuls qui devraient être employés et que l'on construit très mal en général. Là, je lui adresserai une critique que je renouvellerai d'ailleurs plus loin, parce qu'il ne nous donne pas la solution réellement rationnelle qui devrait présider à toute installation. Ainsi, il oublie de nous dire qu'un appareil de chauffage, quel qu'il soit, ne devrait exclusivement se régler que par son admission d'air sous le cendrier; que ces derniers devraient être toujours des réservoirs d'air munis de modérateurs rigoureusement étanches.

C'est si vrai qu'aujourd'hui encore les appareils munis de ce dispositif, comme « le Phénix », par exemple et certains autres trop rares, sont toujours de mode, quoique vieux de plus de 60 ans.

De même, parlant des calorifères à air chaud qui, en principe, sont condamnés aujourd'hui, j'aurais aimé qu'il nous dise que cet appareil, chauffé au bois et muni d'un régulateur d'arrivée d'air hermétique, est un appareil parfaitement sain, utilisable et économique à la campagne où le bois est bon marché.

M. Debesson nous prive de tout son savoir, c'est regrettable.

Tout le monde n'a pas le moyen de faire les frais d'un appareil à vapeur ou à eau; or, le calorifère à air, même au charbon, très bien calculé surtout et bien construit, est un appareil pouvant rendre à certains propriétaires d'immenses services.

Nous parlant du chauffage à vapeur à basse pression, il nous donne là des renseignements précieux qui, certainement, empêcheront de voir se perpétuer une série d'inconvénients.

Il nous décrit le chauffage par batteries en cave. Or, ce mode est de beaucoup le meilleur assurément, pour toutes espèces de raisons quand on ne regarde pas à la dépense, pourquoi ne nous le dit-il pas? Il oublie trop que ceux qui, comme lui, savent bien cette question sont rares et que son ouvrage est fait pour instruire.

M. Debesson examine avec beaucoup de détails intéressants et nouveaux les chauffages à eau chaude ordinaire et à circulation accélérée.

Comme ce dernier mode est relativement nouveau, nous aurions bien voulu qu'il nous mît en garde contre cette nouveauté que l'on est porté à adopter, ignorant que le meilleur chauffage est encore le chauffage à eau chaude ordinaire avec introduction d'air du dehors et que si le chauffage à circulation et à niveau est des plus intéressants, il constitue une exception et une réelle difficulté que seules les maisons de premier ordre peuvent entreprendre; malgré toutes ces réserves, en résumé, M. Debesson nous a donné un excellent ouvrage rempli de documents précieux, mais, hélas! trop parcimonieusement présentés.

Espérons que, dans sa prochaine étude sur la ventilation, il comblera cette lacune en développant cette idée maitresse qu'il n'y a pas de bon chauffage sans ventilation, ni d'appareil bien compris sans un cendrier étanche et réglable.

Remercions-le à l'avance, autant d'ailleurs que de sa publication actuelle, *le Chauffage des habitations*.

L. d'Anthonay.

Précis d'hydrologie *(eaux potables et eaux minérales)*, par le docteur Emile Fleury (1).

Relatif à l'hydrologie générale, le premier volume traite des questions de géologie, de chimie et de physique, appliquées aux eaux potables.

Le second volume concerne spécialement les eaux minérales, classées selon leurs principales caractéristiques chimiques et leurs actions thérapeutiques.

Bien qu'il soit écrit plus particulièrement pour les médecins, les pharmaciens et les malades, ce précis d'hydrologie sera aussi consulté avec fruit par les ingénieurs sanitaires en particulier.

P. Vincey.

Les divers procédés de conservation des œufs, par Raymond Nourrissé (2).

Continuant l'étude des différents procédés de conservation des produits alimentaires, la *Société d'Éditions techniques* publie un opuscule de M. Raymond Nourrissé relatif à la conservation des œufs.

On y lira avec intérêt les différentes méthodes usitées en France et à l'Étranger, que l'auteur divise en deux classes : celles par le froid (production du froid, état hygrométrique des chambres froides, qualités des œufs à conserver, prix de revient, etc.) et ceux basés sur des principes autres que la réfrigération, tels que l'emploi de l'eau salée, des matières pulvérulentes, de l'eau de chaux, des corps gras, avec description précise de tous les brevets pris en France et à l'Étranger.

Ed. C.

Les Pyrites (*pyrites de fer*, *pyrites de cuivre*), par M. P. Truchot, Ingénieur-chimiste, chef de laboratoire à la Société française des pyrites de Huelva (3).

La pyrite est devenue la base essentielle de la fabrication moderne de l'acide sulfurique, tout en restant la source productive et privilégiée du cuivre lui-même, dont l'emploi se développe de jour en jour.

Le travail de M. Truchot répond donc à un double besoin : pour les mineurs et les métallurgistes, il traite des gisements de pyrite cuivreuse du globe et des méthodes hydrométallurgiques d'extraction du cuivre; pour les fabricants de produits chimiques, il étudie les divers procédés de grillage des pyrites et décrit les nouveaux fours créés à cet effet.

Le plan de l'ouvrage, parfaitement ordonné, en facilite la lecture.

(1) 2 vol. in-18, 190 × 130 de xv-212 p. avec 23 fig. et de xx-332 p. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, brochés : 3 et 4 f.

(2) In-8°, 225 × 140, de 31 p. Paris, *Société d'Éditions techniques*, 16, rue du Pont-Neuf, 1907. Prix broché, 1,50 f..

(3) In-8°, 210 × 135 de viii-348 p. avec 77 fig. et 1 carte. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 9 f.

Après un exposé de la minéralogie des minerais pyriteux et de la géologie des pyrites, et après une description des principales mines de pyrites et des minerais sulfurés, l'auteur arrive à l'étude des procédés modernes de grillage et de traitement des minerais pyriteux, en consacrant un chapitre à l'analyse chimique de ces minerais.

En outre des renseignements techniques, l'auteur met en évidence la part considérable que la France a su prendre dans la recherche et dans l'utilisation des pyrites.

F. C.

VI[e] SECTION

Calcul électrique et mécanique des distributions d'énergie, par M. J.-H. Jacobsen (1).

Cette publication est la reproduction d'une conférence faite à l'Association Amicale des Anciens Élèves de l'École Pratique d'Électricité Industrielle. Elle contient un exposé assez rapide ayant un caractère pratique des méthodes les plus récentes pour le calcul électrique et mécanique des lignes, en particulier des lignes pour courants triphasés.

La brochure est complétée par une planche reproduisant l'abaque universel de M. A. Blondel, qui permet la détermination rapide des tensions et flèches dans toutes les conditions de surcharge.

P. S.

L'Électricité à la portée de tout le monde, par Georges Claude (2).

Le succès toujours croissant de cet ouvrage a imposé à son auteur une nouvelle édition.

On connait la méthode suivie par M. G. Claude pour intéresser ses lecteurs. Après avoir exposé les premiers principes de la mesure des phénomènes électriques et l'étude des piles, il procède en faisant suivre chaque chapitre théorique d'un chapitre d'applications. Cette façon de faire et l'exposé si clair et si entraînant de l'auteur ont été les raisons du succès de cet ouvrage très complet et qui, à l'égal d'un véritable cours d'électricité, traite de toutes les questions sans distinction.

Une lacune cependant existait dans les premières éditions. Les récentes découvertes sur le radium et celles qui ont précédé de Hertz, de Röntgen, avec la télégraphie sans fil, paraissaient volontairement laissées de côté.

Cette édition répare complètement cette lacune en donnant une série de chapitres intitulés : « Causeries sur le radium et sur les nouvelles radiations ».

(1) In-8°, 240 × 160 de 40 p. avec 20 fig. et 2 pl. Paris, XVIII[e], au siège de l'Association, 53, rue Belliard.

(2) In-8°, 250 × 165 de 481 p., avec 230 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, broché : 7,50 f.

Avec son talent habituel, comme préliminaires, M. Claude expose d'abord l'étude des ondulations hertziennes des rayons cathodiques et des rayons X. Deux importants chapitres résument le principe de ces découvertes, en montrant les analogies qui existent entre les grandes théories des émissions lumineuses et des ondulations.

L'étude des belles découvertes de M. et Mme Curie et de M. E. Becquerel sur le radium, avec les propriétés de radio-activité et autres de ses différents rayons, suit ensuite; et, sans difficultés, le lecteur technicien ou amateur, trouve dans ce nouvel ensemble l'initiation qu'il appréciait déjà tant dans la première partie de l'ouvrage.

Ce complément, qui ne représente pas moins du tiers du volume, assure à lui seul à cette nouvelle édition le succès des précédentes.

L. L.

Théories des phénomènes électriques et de la mécanique basées sur l'influence, par René Picard du Chambon (1).

Dans cet opuscule de 131 pages, l'auteur présente l'exposé général d'une synthèse des phénomènes naturels, entièrement basée sur l'influence à distance, sans intervention d'un milieu intermédiaire. L'auteur revient ainsi aux idées qui avaient cours il y a moins d'un siècle, et on ne peut mieux faire que de citer ce passage de la préface de l'auteur.

« Un seul phénomène m'a paru dominer toute la question : celui de l'influence électrique; une seule loi : celle des attractions et répulsions électrostatiques.

» Je vois déjà l'objection que vous allez me faire : « Il n'y a pas d'action à distance ». Eh bien ! je montrerai dans le dernier chapitre, qu'en dehors de nous, il n'y a pas de distance, puisqu'il n'y a pas d'espace absolu; nous n'avons donc pas à nous inquiéter de ce problème. »

R. A.

Instructions sur le montage des installations électriques (2).

Ces instructions ont été rédigées par les associations françaises d'appareils à vapeur ayant un service électrique (Amiens, Lyon, Marseille, Mulhouse, Nancy), par l'Association des Industriels du Nord de la France et par l'Association Normande pour prévenir les accidents.

Elles sont suivies par le texte des décrets du 11 juillet 1907, sur la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

P. S.

(1) In-8°, 215 × 135, de 136 pages. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 2,50 f.

(2) In-18, 185 × 105 de 55 p. Nancy, Berger-Levrault et Cie, 18, rue des Glacis.

Le passé, le présent, l'avenir de la télégraphie sans fil,
par E. GUARINI (1).

M. Guarini, dans le but d'aider aux essais de télégraphie sans fil qui se poursuivent actuellement au Pérou, étudie dans cet ouvrage les divers types de transmetteurs et de récepteurs, les répétiteurs pour la télégraphie sans fil, les avantages et les inconvénients des divers systèmes imaginés, la syntonisation, la propagation des ondes dans la télégraphie sans fil à grande distance, les applications diverses de la télégraphie sans fil, etc. Il préconise, pour les pays neufs particulièrement, le système utilisant les courants alternatifs ordinaires transmis au moyen du sol.

P. S.

Installations téléphoniques *(Guide pratique)*, par J. SCHILS, Inspecteur des Postes et Télégraphes (2).

L'auteur, avec une très grande précision, a condensé en un même ouvrage tous les éléments de théorie et de pratique nécessaires au personnel technique des téléphones.

Dans une première partie, qu'il intitule les préliminaires, il donne des notions générales sur la pile et sur l'électro-aimant. Les lois sur les courants dérivés et sur l'induction sont très simplement expliquées et complètent ces éléments indispensables à tout spécialiste.

L'originalité de l'ouvrage réside particulièrement dans la description des appareils. Avec un très grand soin, l'auteur s'est attaché à décrire le principe de chaque appareil et les détails de construction; des schémas donnent avec une grande netteté le montage de leur ensemble ou des différentes parties.

Les postes centraux des différents modèles, les tableaux standards et les différents problèmes de transformation de postes constituent un des chapitres les plus intéressants.

Une étude sur les dérangements pouvant survenir dans les postes ou sur les lignes, avec les différents modes de recherches, complète très heureusement cet ouvrage, appelé à rendre de grands services au personnel des services téléphoniques.

L. L.

(1) In-8°, 245 × 160 de 192 p. avec 366 fig. Paris, VIe. H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins.

(2) In-8°, 205 × 130 de 270 p., avec 187 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix. relié : 4,50 f.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA CHRONIQUE DU 2me SEMESTRE, ANNÉE 1908

Octobre, Novembre et Décembre.

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE 2e SEMESTRE DE L'ANNÉE 1908

(Bulletins de juillet à décembre)

ADMISSION DE NOUVEAUX MEMBRES

AUTOMOBILE

AVIATION ET NAVIGATION AÉRIENNE

BIBLIOGRAPHIE

CHEMINS DE FER

CHIMIE INDUSTRIELLE

CHRONIQUE

Voir *Table spéciale des Matières.*

COMPTES RENDUS

CONCOURS

CONGRÈS

DÉCÈS

DÉCORATIONS FRANÇAISES

Officier de Légion d'honneur : M. L. Rey.

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. D. Wourgaft, J. Hersent, L.-J.-B. Aurientis, E. Decout-Lacour, J.-A. Thirion, E. Guillet de la Brosse, R. Lesfargues.

Officiers de l'Instruction publique : MM. Ch. Pelletier, C. Desgorces.

DÉCORATIONS ÉTRANGÈRES

Officier de Léopold de Belgique : M. P. Boubée.

Chevaliers de Léopold de Belgique : MM. P. Bizet, E. Bertrand.

Commandeur de Saint-Alexandre de Bulgarie : M. Michel-Schmidt.

Commandeur du Nicham Iftikar : M. Godard-Desmarest.

Officier du Nicham Iftikar : M. A. Blum.

(Séances des 3 juillet, 2 octobre, 6 et 20 novembre, 4 décembre). 6, 555, 757, 766 et 1001

DIVERS

DONS ET LEGS

ÉLECTRICITÉ

EXPOSITIONS

HYGIÈNE

MACHINE A VAPEUR

MÉCANIQUE

MINES

MOTEURS



NAVIGATION

NÉCROLOGIE

NOMINATIONS

OUVRAGES, MÉMOIRES ET MANUSCRITS REÇUS

PLANCHES

Nos 164 à 177.

PRIX ET RÉCOMPENSES

TRANSPORTS

TRAVAUX PUBLICS

TABLE ALPHABÉTIQUE

PAR

NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LE 2e SEMESTRE, ANNÉE 1908.

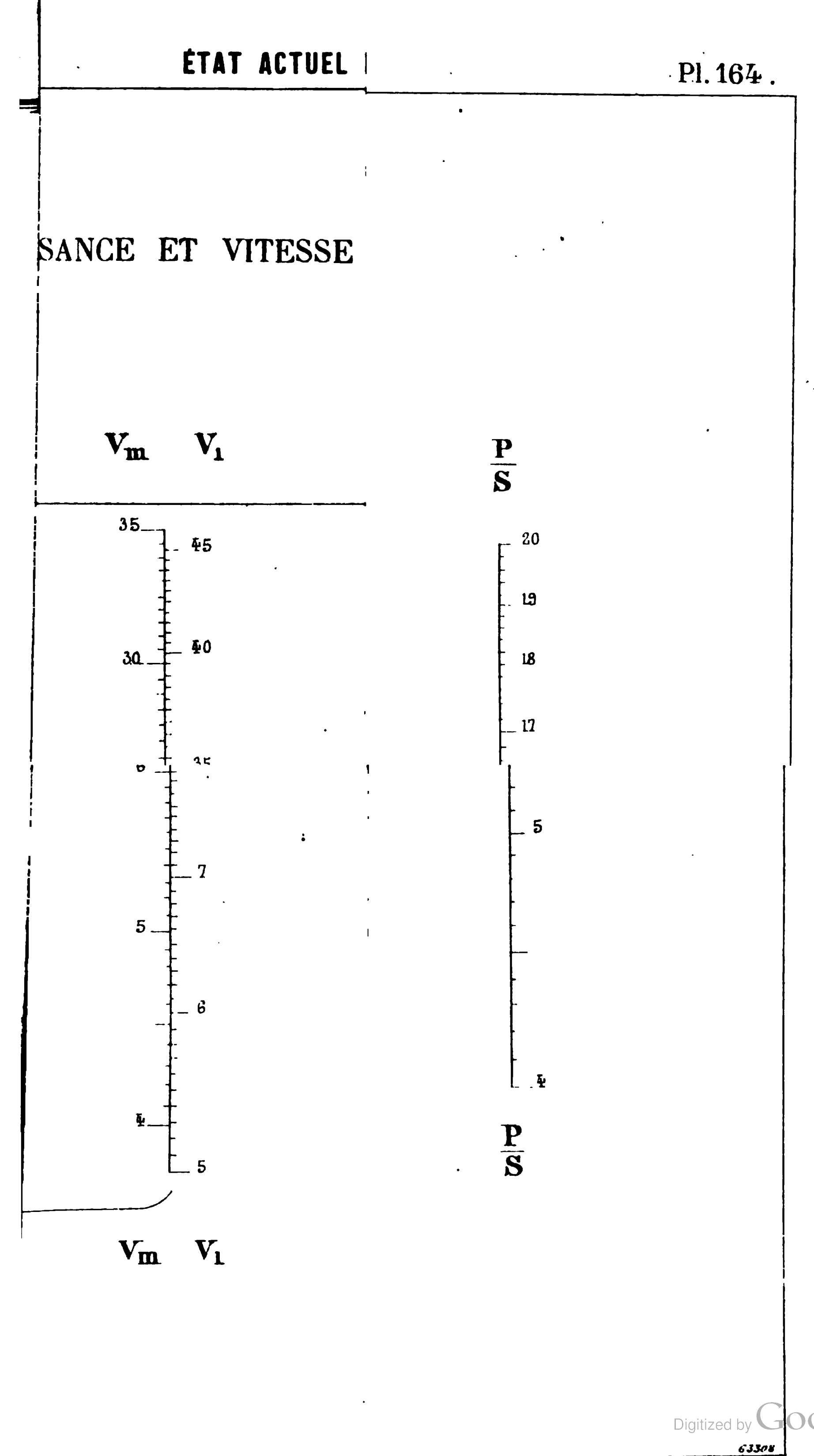
(Bulletins de juillet à décembre.)

Le Secrétaire Administratif, Gérant,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 23138-12-08. — (Encre Lorilleux)

SANCE ET VITESSE



63308
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Bu



SANCE ET VITESSE

